



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

STUDI KOMPARASI PENAMBAHAN *FILLER* ORGANIK TERHADAP PENINGKATAN SIFAT MEKANIK DAN *THERMAL* KOMPOSIT *BIODEGREDABEL* POLY (LACTIC ACID) PADA APLIKASI PLASTIK *GREEN MATERIAL*

AKHMAD AFFAN HAKIM
NRP 0251140000002

Dosen Pembimbing
Dr.Eng Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**STUDI KOMPARASI PENAMBAHAN *FILLER*
ORGANIK TERHADAP PENINGKATAN SIFAT
MEKANIK DAN *THERMAL* KOMPOSIT
BIODEGREDABEL POLY (LACTIC ACID) PADA
APLIKASI PLASTIK *GREEN MATERIAL***

**AKHMAD AFFAN HAKIM
NRP 0251140000002**

**Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**A STUDY COMPARATION FILLER ORGANIC
ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES
AND THERMAL OF COMPOSITE
BIODEGREDDABLE POLY (LACTIC ACID)
USING PLASTIC GREEN MATERIAL**

**AKHMAD AFFAN HAKIM
NRP 0251140000002**

Advisors

**Dr.Eng. Hosta Ardhyana, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI KOMPARASI PENAMBAHAN FILLER ORGANIK
TERHADAP PENINGKATAN KEKUATAN SIFAT
MEKANIK DAN THERMAL *BIODEGREDABEL*
KOMPOSIT POLY (LACTIC ACID) PADA APLIKASI
PLASTIK GREEN MATERIAL
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
AKHMAD AFFAN HAKIM
NRP. 025 1 14 40000 002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M. Sc.....(Pembimbing I)

Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.....(Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI KOMPARASI PENAMBAHAN *FILLER*
ORGANIK TERHADAP PENINGKATAN
KEKUATAN SIFAT MEKANIK DAN *THERMAL*
KOMPOSIT *BIODEGREDABEL* POLY (LACTIC
ACID) PADA APLIKASI PLASTIK *GREEN*
*MATERIAL***

Nama Mahasiswa : Akhmad Affan Hakim
NRP : 02511440000002
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr.Eng Hosta Ardhyana, S.T.,M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Pesatnya penggunaan plastik sampai saat ini belum bisa tergantikan. Plastik yang beredar terbuat dari minyak hidrokarbon yang mencemari lingkungan dan lama terdegradasi. Penggunaan *greenmaterial* merupakan solusi untuk merawat lingkungan. Penelitian ini memuat tentang pemanfaatan Poly(Lactid Acid) (PLA) yang merupakan polimer termoplastik berbasis asam laktat dan digunakan dalam produk *biodegradable* serta keperluan medis. Pada penelitian ini dilakukan komparasi penambahan *filler* organik terhadap peningkatan sifat mekanik. Pemilihan *filler* didasari pada unsur organik, *renewable*, dan ekonomis. Matrik PLA dipadukan dengan *filler* berupa *Chitosan*, Pati Singkong, Gliserol, Selulosa dan Sorbitol. Metode yang digunakan diawali dengan pengeringan serbuk *filler*, tempering pada 35 °C selama 24 jam untuk mengurangi kadar air yang masih terkandung dalam bahan. Matrix PLA dan *filler* pengisi dipadukan menggunakan alat bernama *hotplatte* dengan komposisi *filler* 10% untuk selanjutnya dibentuk menjadi sampel uji. Didapatkan dengan penambahan *filler* selulosa(10%) terjadi peningkatan yang paling baik, yaitu kekuatan tarik 1,39 J, *impact* 5,37 Mpa. Dengan penambahan *filler* sorbitol menunjukkan laju biodegradasi dan kestabilan termal paling baik, degradabilitas dengan masa akhir setelah direndam dalam air

selama 6 minggu, sebesar 96.2 % dan ketahanan temperatur 359,7 °C.

Kata kunci: polylactic acid, selulosa, biodegradabel, tensile properties, impact properties.

**A STUDY COMPARATION FILLER ORGANIC
ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES AND
THERMAL OF COMPOSITE BIODEGREDBLE POLY
(LACTIC ACID) USING PLASTIC GREENMATERIAL**

Name : Akhmad Affan Hakim
NRP : 02511440000002
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisors : Dr.Eng Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc.
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

ABSTRACT

The rapid use of plastic to date has not been replaced. The outstanding plastics are made from hydrocarbon oils that pollute the environment and are degraded for long. The use of greenmaterial is a solution to care for the environment. This study includes the use of Poly (Lactid Acid) (PLA) which is a lactic acid-based thermoplastic polymer and used in biodegradable products and medical purposes. In this study comparative addition of organic filler to the increase of mechanical properties. The choice of filler is based on organic, renewable, and economical elements. PLA matrix is combined with filler in the form of Chitosan, Pati Cassava, Glycerol, Cellulose and Sorbitol. The method used begins with the drying of the filler powder, thempering at 35 ° C for 24 hours to reduce the moisture content still contained in the material. The PLA matrix and filler filler are combined using a tool called hotplatte with a filler composition of 10% to further be formed into a test sample. Obtained with addition of cellulose filler (10%) happened the best improvement, that is tensile strength 1,39 J, impact 5,37 Mpa. With addition of filler sorbitol showed the best rate of biodegradation and thermal stability, degradability with end time after soaking in water for 6 weeks, 96.2% and temperature resistance 359.7 oC.

Keywords: *Biobased filler, biodegradation, mechanical properties, vinylester.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Komparasi Penambahan Filler Organik Terhadap Peningkatan Kekuatan Mekanik dan Thermal Komposit Biodegradable Poly (lactic acid) pada Aplikasi Plastik Green Material”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karuniaNya dari awal memulai perkuliahan di ITS hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga atas semua doa, dukungan moril dan materiil, pengertian dan cinta yang telah diberikan selama ini
3. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
4. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen *co-embimbing* yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan
5. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.T, M.Sc selaku dosen wali yang senantiasa memberikan motivasi
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
7. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.
10. Keluarga HMMT dan MT16 yang selalu membantu selama masa perkuliahan.

11. Bhakti Santosa dan TilisKitip selaku teman seperjuangan selama Tugas Akhir
12. Rama, Harits, Raka, Yudhis, Fajri, dan Tyo selaku teman seperjuangan di Laboratorium Inovatif.
13. Keluarga SC/PSDM 2015/2016 atas semua pembelajaran tentang perjuangan yang diberikan

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu membantu pengembangan *biodegradable* komposit dengan memanfaatkan bahan alam di Indonesia. Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Surabaya, 4 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit	6
2.2 Biomaterial	11
2.3 Biokomposit.....	11
2.4 Poly(lactid Acid)	12
2.5 <i>Chitosan</i>	15
2.6 Pati Singkong	16
2.7 Gliserol	19
2.8 Selulosa.....	20
2.9 Sorbitol	22
2.10 Sifat Fisik dan Mekanik Biodegradable	23
2.11 Teknologi Manufaktur	25
2.12 Penelitian Terdahulu	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	40
3.2 Bahan Penelitian	41
3.3 Peralatan Penelitian	42

3.4 Variabel Penelitian.....	45
3.5 Prosedur Penelitian	45
3.6 Pengujian	46
3.7 Rancangan Penelitian.....	55

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh <i>Filler Biodegradable</i> Material terhadap Struktur Ikatan Poly(lactid Acid) dengan Analisa FTIR	58
4.2 Pengaruh <i>Filler Biodegradabel</i> Material terhadap Sifat Kekerasan Poly(lactic Acid)..	65
4.3 Pengaruh <i>Biodegradabel</i> Material terhadap Kesetabilan Termal Poly(lactid Acid)...	67
4.4 Pengaruh <i>Filler Biodegredeable</i> Material terhadap Keuatan <i>Impact</i> Komposit Poly(lactid Acid).....	70
4.5 Pengaruh <i>Biodegradabel</i> Material terhadap Kesetabilan Termal Poly(lactid Acid)	71
4.6 Pengaruh Laju Degradasi Material terhadap Komposit <i>Biodegradabel</i> Poly(lactid Acid).....	74
4.7 Analisa Morfologi <i>Biodegradabel</i> Poly(lactid Acid)..	77

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran	80

DAFTAR PUSTAKA	xix
-----------------------------	------------

BIODATA PENULIS	xxv
------------------------------	------------

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Komposit.....	6
Gambar 2.2	Komposit Berpenguat Partikel	8
Gambar 2.3	Komposit Berpenguat Serat	8
Gambar 2.4	Komposit Berpenguat Struktur	9
Gambar 2.5	<i>Hybrid Composite</i>	10
Gambar 2.6	Poly(lactid acid)	15
Gambar 2.7	Struktur Molekul <i>Chitosan</i>	16
Gambar 2.8	Struktur Kimia Amilosa dan Amilopektin	19
Gambar 2.9	Struktur Kimia Gliserol	20
Gambar 2.10	Rantai Selulosa	21
Gambar 2.11	Rumus molekul Sobitol	22
Gambar 2.12	Mekanisme Ekstruder	26
Gambar 2.13	Nilai Tensile Strength Terhadap Penambahan Gliserol	28
Gambar 2.14	Nilai Kekuatan Mekanik Berdasarkan Penambahan <i>Plastisizer</i>	31
Gambar 2.13	Nilai Kekuatan Mekanik PLA Berdasarkan penggabungan <i>plastisizer</i> 36%	31
Gambar 2.16	Nilai Kekuatan Mekanik Terhadap Penambahan Sorbitol.....	33
Gambar 2.17	Pengaruh Penambahan % <i>Filler Chitosan</i> Terhadap Nilai <i>Tensile</i> PLA PO	37
Gambar 2.18	Nilai Modulus Elastisitas Akibat Penambahan % <i>Filler Chitosan</i> Terhadap PLA	37
Gambar 2.19	Pengaruh Penambahan <i>plastisizer</i> ENR Terhadap PLA/ CS	38
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.3	Poly(lactid Acid)	42
Gambar 3.3	<i>Chitosan</i>	42
Gambar 3.4	Pati Singkong	43
Gambar 3.5	Gliserol	44

Gambar 3.6.	Selulosa	47
Gambar 3.7	Sorbitol	48
Gambar 3.8	Skema alat spektroskopi FTIR	49
Gambar 3.9	Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638	50
Gambar 3.10	Kurva Tegangan Regangan ASTM D638	50
Gambar 3.11	Indentor Untuk Uji Kekerasan Durometer Shore-D (ASTM D2240)	51
Gambar 3.12	Alat Durometer Shore D	52
Gambar 3.13	Spektrum FTIR <i>Biodegradabel</i>	53
Gambar 3.14	Ukuran Spesimen Uji Impact (ASTM D256)	54
Gambar 3.15	Mesin Uji Impak <i>Charpy</i>	55
Gambar 3.16	Instrumen <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA).	50
Gambar 3.17	Diagram Skematik Cara Kerja SEM	51
Gambar 3.18	Proses Pelapisan Sampel Menggunakan <i>Autofine-coater</i> JFC-1100	53
Gambar 4.1	Spektrum FTIR <i>Biodegradabel</i> Poly(lactic Acid)	59
Gambar 4.2	Dimensi Spesimen Pengujian Kekerasan <i>Biodegradabel</i> Poly(lactid Acid).....	66
Gambar 4.3	Pengaruh Pengisi <i>Biodegradabel</i> terhadap Kekerasan Poly(lactid Acid)	68
Gambar 4.4	Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik Variasi Komposisi <i>Biodegradabel</i> PLA	68
Gambar 4.5	Pengaruh <i>Filler Biodegradabel</i> terhadap Kekuatan Tarik Poly(lactid Acid).	69
Gambar 4.6	Pengaruh <i>Filler Biodegradabel</i> terhadap <i>Impact Strenght</i> Poly(lactid Acid)	71
Gambar 4.7	Kurva <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA) dari Variasi Komposisi <i>Biodegradabel</i> PLA	73
Gambar 4.8	Mikrograf SEM <i>Biodegradabel</i> PLA perbesaran 5000x (a) PLA, (b) CH(10%)/ PLA (c)	

ST(10%)PLA (d) GLY(10%)/ PLA, (e)
MCC(10%)/ PLA dan (f) SOR10%/ PLA 79.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Kimia dan Sifat Fisika PLA	14
Tabel 2.2	Properti Amilosa dan Amilopektin	18
Tabel 2.3	Komposisi Kimia <i>Biomass</i>	22
Tabel 2.4	Sifat Sorbitol	23
Tabel 2.5	Spesifikasi Produk <i>King Hy-Pact</i>	24
Tabel 2.7	Mechanical Properties of <i>Chitosan/ PLA</i>	35
Tabel2.8	Tabel komposisi Paduan PLA/ Chitosan <i>/Epoxidized natural rubber</i>	36
Tabel 3.1	Sertifikat PLA <i>As Received Amerika Natureworks</i>	41
Tabel3.2	Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638	48
Tabel3.3	Rancangan Penelitian	56
Tabel4.1	Analisa Gugus Fungsi PLA	60
Tabel4.2	PLA + Chitosan 10%	61
Tabel4.3	Analisa Gugus Fungsi Starch	62
Tabel 4.4	Analisa Gugus Fungsi St10%/PLA.....	62
Tabel 4.5	Analisa Gugus Fungsi GLY10%/PLA	63
Tabel 4.6	Analisa Gugus Fungsi MCC10%/PLA.....	64
Tabel 4.7	Analisa Gugus Fungsi SOR10%/PLA.....	65
Tabel 4.8	Pengaruh <i>Filler Biodegradabel</i> Terhadap Temperatur Dekomposisi T_5 dan T_{maks} dari Komposit Poly(lactid acid)	72
Tabel 4.9	Pengaruh <i>filler Biodegradabel</i> terhadap Persentase Degradasi Komposit Poly(lactid Acid).	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Riset kementerian perindustrian republik Indonesia pada awal tahun 2013 mendapatkan data konsumsi plastik hingga 1,55 juta ton pada akhir 2012. Sementara pada kutipan *The Wall Street Journal* per Februari 2016 menyatakan bahwa Indonesia merupakan negara terbesar kedua penyumbang sampah plastik di perairan samudera. Kemudian dalam riset yang dilakukan LIPI, konsumsi plastik di Indonesia per kapita sudah mencapai 17 kilogram per tahun dengan pertumbuhan konsumsi mencapai 6% - 7% pertahun, (LIPI 2016).

Penggunaan bahan plastik yang berlebihan tersebut dapat mengganggu kesehatan dan kelestarian alam. Mayoritas bahan plastik yang paling banyak digunakan adalah High Density Poly Etilen (HDPE) dan Poly Propilena (PP). Sedangkan untuk membuat HDPE dan PP tersebut membutuhkan energy yang besar dan bersumber dari pengolahan minyak hidrokarbon (Geyer, 2017). Sehingga yang terjadi bumi akan semakin rusak. Untuk menguraikan plastik tersebut membutuhkan waktu kurang lebih hingga ratusan tahun (Bergsma, 1995). Penguraian plastik juga menjadi lebih sulit diakibatkan penambahan berbagai zat kimia seperti *plastisizer* (pelentur), antioksidan, *stabilizer*, ataupun zat aditif lainnya (Avella, 2009).

Salah satu inovasi teknologi untuk mengatasi permasalahan diatas adalah pengembangan produk komposit berbasis sumber daya alam terbarukan atau dapat disebut *biodegradabel* komposit. Sebagai usaha inovasi teknologi, maka dilakukan pengembangan material komposisi yang ramah lingkungan. Dalam penelitian ini digunakan Poly(lactic acid) (PLA) sebagai bahan dasar yang akan dikombinasikan dengan sumber daya alam terbarukan yang bersumber dari tumbuhan.

Pada tahun 2010, konsumsi PLA menduduki urutan tertinggi kedua diantara bioplastik di seluruh dunia. Bioplastik adalah



plastik atau polimer yang secara alamiah dapat dengan mudah terdegradasi baik melalui serangkaian mikroorganisme maupun cuaca. PLA mempunyai emisi gas CO₂ lebih rendah sehingga mengurangi pemanasan global. PLA merupakan poliester alifatik termoplastik bersifat biodegradable dan bioaktif yang berasal dari sumber daya alam terbarukan seperti jagung, tapioka, kentang, tepung kanji dan tebu (Hao, 2013).

PLA juga memiliki kekurangan dalam produksi skala besar industri adalah sifat terbatasnya pada penghalang gas yang menghalanginya untuk dimanfaatkan pada sektor industri seperti menjadi material pembungkus dan proses pembuatannya masih sangat mahal harganya (Singh et al., 2003). Disamping itu, PLA juga sangat rapuh dengan kemampuan elongasi kurang dari 10% ketika patah dan juga nilai ketangguhannya jelek. Meski demikian, untuk aplikasi dengan kebutuhan kemampuan mekanik, material ini harus dimodifikasi terlebih dahulu (Rasal & Hirt, 2009). Sehingga perlu ditambahkan *filler* untuk meningkatkan properties material dari PLA. Pada penelitian kali ini, bahan *filler* yang akan digunakan yaitu chitosan, pati singkong, gliserol, selulosa dan sorbitol. Komposisi perbandingan *filler* (10%): matrik. Angka penambahan *filler* tersebut diperoleh berdasarkan literasi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Garcia didapatkan bahwa peningkatan kekuatan mekanik dengan komposisi 10-30% *filler*, menaikkan material properties dari PLA murninya hingga 30%.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap sifat kekuatan tarik maksimum, kekerasan, kestabilan temperatur, dan biodegradabilitas dari kombinasi tersebut dengan berbagai pengujian. Kemudian akan dilakukan komparasi hasil analisa terhadap masing-masing produk *biodegradedabel* komposit tersebut.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalahnya adalah berikut :

BAB I PENDAHULUAN



1. Bagaimanakah komparasi *filler biodegradabel komposit* (*chitosan*, gliserol, pati singkong, selulosa dan sorbitol) sifat mekanik *Biodegradabel* komposit Polylactic acid (PLA)?
2. Bagaimanakah komparasi *filler biodegradable komposit* (*chitosan*, gliserol, pati singkong, selulosa dan sorbitol) terhadap sifat stabilitas temperatur *Biodegradabel* komposit Polylactic acid (PLA)?
3. Bagaimanakah komparasi *filler biodegradabel komposit* (*chitosan*, gliserol, pati singkong, selulosa dan sorbitol) terhadap *Biodegradabel* komposit Polylactic acid (PLA)?

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis komparasi *filler biodegradabel komposit* (*chitosan*, gliserol, pati singkong, polyvinylacid, selulosa dan sorbitol) terhadap sifat mekanik *Biodegradabel* komposit Polylacticacid (PLA).
2. Menganalisis komparasi *filler biodegradabel komposit* (*chitosan*, gliserol, pati singkong, selulosa dan sorbitol) terhadap sifat stabilitas temperatur *Biodegradabel* komposit Polylacticacid (PLA).
3. Menganalisis komparasi *filler biodegradabel komposit* (*chitosan*, gliserol, pati singkong, selulosa dan sorbitol) terhadap degradabilitas *biodegradabel* komposit Polylacticacid (PLA).

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian digunakan untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya dianggap sangat kecil bagi proses penelitian ini sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Adanya pengotor pada polylacticacid dan *filler* pada proses pembuatan diabaikan.

BAB I PENDAHULUAN



2. Kadar uap air dan gas di atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
3. Kualitas spesimen uji berdasarkan proses manufaktur dan alat pengujian diabaikan.
4. Kesamaan ukuran serbuk diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

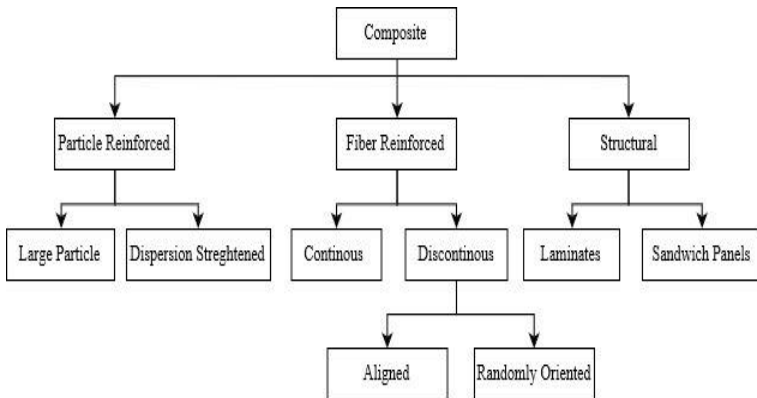
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Peneliti dapat mengetahui sifat mekanik, degradabilitas dan kestabilan temperatur dari *Biodegradable* komposit berbasiskan Polylacticacid (PLA) dan *filler* bahan alam terbarukan. Sehingga dapat mengaplikasikan plastik *green* material yang ramah lingkungan.
2. Sebagai langkah kontribusi untuk dapat mengurangi penggunaan plastik berbahan dasar minyak bumi dan pencemaran lingkungan.
3. Sebagai langkah kontribusi untuk pengembangan *Biodegradable* komposit.
4. Keperluan studi mahasiswa.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Komposit

Komposit merupakan suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun dengan sifat berbeda (Jones, 1975). Komposit memiliki beberapa sifat diantaranya kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, tahan terhadap korosi akibat cairan kimia dan cuaca, mudah dibentuk, serta ketahanan *creep* tinggi. Dengan kelebihan tersebut, komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi dan konstruksi bangunan.



Gambar 2.1 Klasifikasi Komposit (Callister, 1940)

Material komposit tersusun atas dua bahan penyusun yaitu bahan utama sebagai penguat (*reinforce*) dan bahan pendukung sebagai pengisi (matriks). Matriks merupakan unsur yang bertugas untuk mengikat dan melindungi penguat. Unsur ini juga menahan dan meneruskan tegangan yang diterima oleh komposit tersebut (Schwartz, 1984). Penguat merupakan unsur utama dalam pembentukan material komposit yang menentukan



karakteristik material komposit seperti kekakuan, kekuatan, dan sifat mekanik lainnya.

Jenis komposit berdasarkan jenis matriks terdiri:

1. *Polimer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer.
Contoh: *Thermoplastik, Thermoseting*
2. *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan komposit berbahan matriks logam.
Contoh: Alumunium, Magnesium, dan Titanium
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.
Contoh: *Alumina, Alumunium Titanate, Silicon Carbide*

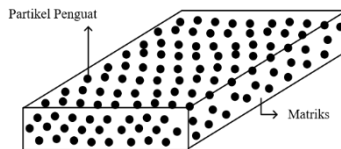
Komposit berbahan matriks logam (MMC) sering diaplikasikan pada bidang kedirgantaraan dan komponen otomotif. CMC digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Komposit berbahan polimer (PMC) sering digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan elektronik. Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus mampu meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matrik (Triyono, 2003).

Bahan polimer pada matriks dibagi menjadi 2 jenis yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Polimer *thermoset* adalah bahan yang akan menjadi keras jika di panaskan di atas temperatur kritisnya dan tidak dapat diperlunak dengan cara di panaskan. Polimer *thermoset* tidak dapat di daur ulang. Contoh matriks polimer *thermoset* adalah *epoxy* dan *polyester*. Polimer *thermoplastic* adalah polimer yang dapat dilunakkan dengan cara dipanaskan diatas temperatur kritisinya. Polimer *thermoplastic* dapat didaur ulang. Contoh polimer *thermoplastic* adalah *polystyrene* dan *nylons*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

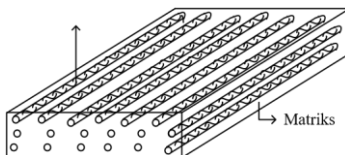
Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

1. Komposit Berpenguat Partikel Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel
Contoh: Beton, yang merupakan bahan baku bangunan dimana matriksnya adalah semen sedangkan penguatnya adalah pasir.



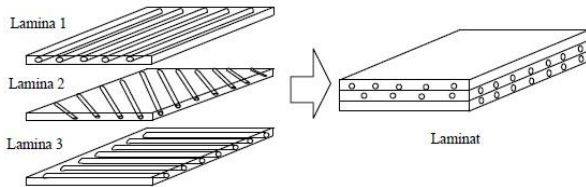
Gambar 2.2 Komposit Berpenguat Partikel (Gibson, 1994)

2. Komposit Berpenguat Serat merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat.
Contoh: *fiber glass* dalam matriks polimer dan serat alam dalam matriks polimer.



Gambar 2.3 Komposit Berpenguat Serat (Gibson, 1994)

3. Komposisi Berpenguat Struktur
Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan maupun struktural.
Contoh: *polywood*



Gambar 2.4 Komposit Berpenguat Struktur (Gibson, 1994)

4. *Hybrid Composite*

Merupakan suatu jenis komposit yang penguatnya lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala kecil dan skala besar. Tujuan dari hibridisasi adalah untuk membuat suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya. Contoh dari *hybrid composite* adalah *Glass Reinforced Fiber Metal Laminate* (GLARE)

Hybrid Composite dibedakan menjadi 4 jenis yaitu:

a. *Sandwich*

Merupakan suatu material yang dihimpit oleh material lainnya.

b. *Interply* atau *Laminated*

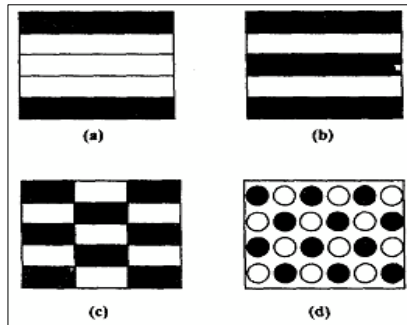
Merupakan suatu material yang terdiri atas lapisan penyusun yang berbeda.

c. *Intraply*

Merupakan gabungan dua atau lebih jenis serat yang tersusun dalam satu lamina

d. *Intimately mixed*

Penyusun dari masing-masing serat penguat dicampurkan sedemikian rupa sehingga tidak ada konsentrasi dari masing-masing yang tampak pada material komposit.



Gambar 2.5 Hybrid Composite (a) Sandwich (b) Interply
(c) Intraply (d) Intimately mixed (Gibson, 1994)

Menurut (Gibson, 1994) material penguat adalah salah satu penyusun utama pada material komposit. Material ini secara umum berbentuk serat baik serat panjang dan serat pendek. Mayoritas fraksi volume dari material komposit terdiri dari material penguat ini agar beban yang dikenakan dapat terdistribusi dengan baik ke material penguat. Pemilihan jenis serat, fraksi volume serat, panjang serat, dan arah serat akan mempengaruhi karakteristik material komposit sebagai berikut: berat jenis, kekuatan tarik dan modulus elastisitas, kekuatan tekan dan modulus, kekuatan fatigue serta mekanisme kegagalannya, dan biaya produksi.

2.2. Biomaterial

Biomaterial adalah suatu material dengan sifat baru yang digunakan sebagai perangkat medis dan mampu berinteraksi dengan sistem biologis (Liu, 2014). Biomaterial diklasifikasikan ke



dalam 3 kelompok dalam penggunaannya antara lain biokompabiliti, bionert, dan bioaktif. Biokompabiliti merupakan material yang dapat bertahan tanpa memberikan efek atau kerusakan pada jaringan tubuh (stainless steel), Bioinert merupakan 7 material yang mempunyai lapisan oksida pada permukaan (aluminium zirkonium, titanium, dan material karbon), dan Bioaktif yaitu ketika terdapat ikatan langsung secara biokimia dan biologi. Biomaterial dengan tulang induk melalui pembentuk suatu lapisan apatit pada permukaan biomaterial (keramik kalsium fosfat dan keramik gelas) (Maurizo Avella, 2009).

Sedangkan menurut Lani (2014), biomaterial diklasifikasikan ke dalam 4 kelompok kimia antara lain polimer, komposit, logam, dan keramik. Bioplastik atau yang lebih sering disebut plastik biodegradable, merupakan salah satu jenis plastik yang hampir keseluruhannya terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui seperti pati, minyak nabati dan mikrobiota. Bioplastik diproduksi dari proses polimerisasi polisakarida dari umbi-umbian seperti bengkuang, talas, singkong, dll. Ketersediaan bahan dasarnya di alam sangat melimpah. Bahan yang dapat diperbaharui ini memiliki biodegradabilitas yang tinggi sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan bahan pembuat bioplastik (Stevens, 2002).

2.3. Biokomposit

Kemasan *biodegradable* diartikan sebagai film kemasan yang dapat di daur ulang dan dihancurkan secara alami. Berdasarkan bahan bak yang dipakai, plastik *biodegradable* dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia dan kelompok dengan bahan baku produk tanaman seperti pati dan selulosa. Kelompok pertama adalah penggunaan sumber daya yang tidak terbaharui (non-renewable resources) sedangkan kelompok yang kedua adalah sumber daya alam yang terbaharui (*renewable resources*) (Avella, 2009).

Selama ini plastik *biodegradable* yang dikembangkan adalah berbasis pati, baik pati alami maupun yang sudah dimodifikasi. Menurut Krochta (1997), bahan yang dapat terbiodegradasi adalah



harus sepenuhnya terdegradasi oleh mikroorganisme dalam suatu proses pengomposan yang akan menghasilkan hanya “*natural compound*” (CO_2 , H_2O , metana, biomassa). Beberapa factor yang dapat mempengaruhi kemampuan tingkat biodegradasi suatu polimer adalah geometri molekul ikatan rantai panjang (berkaitan dengan panjang rantai polimer atau bobot molekulnya), kompleksitas struktur polimer (berkaitan dengan kerumitan struktur polimer seperti adanya rantai panjang, rantai rangkap amorf dan kristalin) dan sifat hidrofolik polimer (kelarutan) (Autar, 2006).

2.4. Poly(lactic Acid) (PLA)

Poly (lactic acid) (PLA) merupakan jenis polimer biokompatibel dan biodegradabel yang mampu digunakan dalam aplikasi biomedik (Hao, 2013). PLA memiliki sifat mekanik yang padat, kekuatan yang tinggi serta sifat yang rapuh. PLA adalah poliester alifatik yang dapat diturunkan 100 % dari sumber daya alam terbarukan. PLA $[(\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2)_n]$ sudah diakui oleh US Food and Drug Administration (FDA) untuk kontak langsung dengan cairan biologis.

Empat keuntungan utama PLA adalah kemampuannya untuk diperbaharui, biokompatibilitas, kemampuan proses, dan hemat energinya (Rasal, 2010). PLA juga merupakan polimer sintesis yang dibuat dari asam laktat ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$) dan diproduksi dari fermentasi sumber sumber pertanian. Material ini diturunkan dari jagung dan beras yang dapat mengurangi krisis energi dan mengurangi ketergantungan terhadap minyak fosil.

PLA dan produk degradasinya tidak bersifat karsinogen di dalam tubuh. Karenanya, material ini sangat cocok untuk aplikasi biomedik termasuk dalam pembuatan kapsul obat, benang operasi, bahkan drug delivery system atau sistem pengantar obat dalam tubuh manusia. PLA dapat diproses dengan cetakan lapisan, ekstrusi, molding, maupun fiber spinning. Hal ini dimungkinkan karena PLA memiliki sifat mampu proses panas jika dibandingkan dengan biomaterial lainnya (Lu, 2016).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Selain itu, PLA juga memiliki tingkat degradasi yang cukup lama melalui proses hidrolisis. Proses ini terkadang memerlukan waktu bertahun-tahun sehingga menghalangi kemampuannya sebagai material biomedik dan sebagai pembungkus makanan (Bergsma, 1995). Disamping itu, PLA juga sangat rapuh dengan kemampuan elongasi kurang dari 10% ketika patah. Meski demikian, untuk aplikasi dengan kebutuhan kemampuan mekanik, material ini harus dimodifikasi terlebih dahulu (Rasal & Hirt, 2009).

Material PLA bersifat hidrofobik dan mampu menghasilkan radang dari jaringan hidup disekitarnya. Hal ini terjadi karena daya afinitasnya sangat rendah terhadap sel ketika digunakan sebagai material jaringan buatan. Kekurangan lain PLA dalam produksi skala besar industri adalah sifat terbatasnya pada penghalang gas yang menghalanginya untuk dimanfaatkan pada sektor industri seperti menjadi material pembungkus dan proses pembuatannya masih sangat mahal harganya (Singh et al., 2003).

Meski demikian, para peneliti telah banyak mengembangkan beberapa metode berbeda untuk memodifikasi permukaan maupun bagian besar PLA, termasuk aplikasinya bersamaan dengan komponen lain, kontrol energi permukaan termasuk kekasaran permukaan sesuai dengan kebutuhan aplikasi spesifik.

Tabel 2. 1 Sifat Kimia dan Sifat Fisika PLA (Singh et al., 2003)

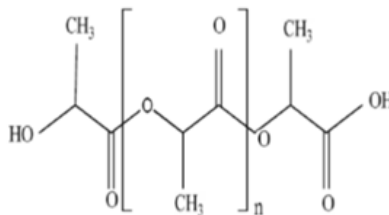
Sifat	PDLA	PLLA	PDLLA
Solubilitas	Semua larut dalam benzene, chloroform, acetone, tetrahydrofuran (THF), dioxane, dan hidrokarbon alifatik.		
Struktur Kristalin	Kristalin	Hemikristalin	Amorphous
Temperatur Leleh (Tm)/°C	~180	~180	Bervariasi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tempertur Transisi Kaca (Tg)/ °C	50- 60	55- 60	Bervariasi
Temperatur Dekomposisi /°C	~200	~200	185- 200
Elongasi pada saat retak / (%)	20-30	20- 30	Bervariasi
Kekuatan Patah/ (g/d)	4.0 -5.0	5.0- 6.0	Bervariasi
Hal-Life pada cairan normal 37 °C	4- 6 Bulan	4-6 Bulan	2-3 Bulan

Asam L-lactic dan asam D-lactic adalah dua jenis isomer asam laktat. Kedua asam ini diperlukan untuk proses sintesis PLA. Homopolimer LA adalah berupa bubuk putih pada temperatur ruangan dengan nilai Tg dan Tm sebesar 55°C dan 175°C. PLA dengan berat molekul tinggi tidak berwarna, mengkilat, bersifat kaku dan memiliki sifat yang mirip dengan *polystyrene*. Rumus molekul PLA ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Poly(lactid acid) (Singh et al., 2003)

2.5. Chitthosan

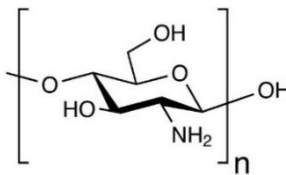
Chitosan (CS) berasal dari kitin, zat berlimpah alami yang ditemukan pada eksoskeleton serangga, kerang dari krustasea, dan dinding sel jamur, dan biasanya digunakan sebagai agen finishing yang ramah lingkungan alami. Sruktur molekul *Chitosan* dapat dilihat pada gambar 2.7. Hal ini dapat membuat kain diperlakukan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



mempromosikan kepenuhan, kapasitas retensi kelembaban, penyerapan keringat, elastisitas tinggi, kenyamanan, serta meningkatkan ketahanan lipatan, pencilupan, antibakteri erty prop-, karena aktivitas fisiologis. Namun, *Chitosan* memiliki kemampuan penyerap yang kuat, dan sifat-sifat anical mech- basah film begitu miskin yang membatasi aplikasi medis sebagai bahan fungsional. Baru-baru ini, dilaporkan bahwa *Chitosan* dicampur dengan gelatin atau lateks alam menggunakan teknik pengecoran untuk membentuk film tidak hanya dapat meningkatkan mois-mendatang permeabilitas, tetapi juga mengatasi sifat physical masing masing. Dan beberapa membran campuran berbasis *Chitosan* lainnya juga telah berhasil dihasilkan dari pencampuran dengan polimer sintetis, bahan makromolekul alami, seperti PVA, PLA, kolagen, alginate, dll (Suyatma, 2004).

Chitosan baik digunakan karena kitosan mudah terdegradasi dan mudah digabungkan dengan material lainnya (Dutta, 2009). Kandungan kitosan dalam cangkang kering arthropoda mencapai 20-50%, sehingga potensial digunakan sebagai bahan baku *biodegradable* plastik (Joseph et al., 2007). *Chitosan* mempunyai sifat sebagai pengikat bahan – bahan untuk pembuatan plastik, memperbaiki transparansi film plastik yang dihasilkan, dan mempunyai sifat antimikrobakterial (Dutta, 2009).



Gambar 2.7 Sturktur molekul *Chitosan* (Suyatma, 2014).



2.6. Pati Singkong

Amilum atau dalam bahasa sehari-hari disebut pati terdapat dalam berbagai jenis tumbuh-tumbuhan yang disimpan dalam akar, batang buah, dan sebagai cadangan makanan. Pati adalah polimer Glukosa dan ditemukan sebagai karbohidrat simpanan dalam tumbuh-tumbuhan, misalnya ketela pohon, pisang, jagung dan lain-lain (Poedjiadi A, 1994).

Amilosa adalah bagian polimer rantai lurus dengan ikatan α -(1,4) unit glukosa yang memiliki derajat polimerisasi setiap molekulnya yaitu 102-104 unit glukosa. Sedangkan amilopektin merupakan polimer α -(1,4) unit glukosa yang memiliki percabangan α -(1,6) unit glukosa dengan derajat polimerisasi yang lebih besar yaitu 104-105 unit glukosa. Bagian percabangan amilopektin terdiri dari α -D-glukosa dengan derajat polimerisasi sekitar 20-25 unit glukosa (Kusnandar, 2011). Tabel 2.1 memberikan informasi mengenai properti atau sifat-sifat dari struktur amilosa dan amilopektin.

Jumlah pati yang dihasilkan dengan beberapa perbandingan molekul amilosa dan amilopektin tergantung dari sumber tanaman asal, seperti tapioka yang hanya mengandung amilosa sebesar 17% dan sisanya adalah amilopektin yaitu sebesar 83%, sedangkan pada jagung jumlah amilosa bisa mencapai 25% sampai 80% dan sisanya amilopektin (Smith, 1982).

Hidrolisis adalah reaksi kimia antara air dengan suatu zat lain yang menghasilkan satu zat baru atau lebih dan juga dekomposisi suatu larutan dengan menggunakan air. Proses ini melibatkan pengionan molekul air ataupun peruraian senyawa yang lain. (Pudjatmaka dan Qodratillah, 2002).

Reaksi hidrolisis pati berlangsung menurut persamaan reaksi sebagai berikut:





Pati air glukosa Karena reaksi antara pati dengan air berlangsung sangat lambat, maka untuk memperbesar kecepatan reaksinya diperlukan penambahan katalisator. Penambahan katalisator ini berfungsi untuk memperbesar keaktifan air, sehingga reaksi hidrolisis tersebut berjalan lebih cepat. Katalisator yang sering digunakan adalah asam sulfat, asam nitrat dan asam khlorida. Dalam reaksi ini menggunakan katalis asam Asetat sehingga persamaan reaksi yang terbentuk sebagai berikut: $(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O \rightarrow n(C_6H_{12}O_6)$ Pati air glukosa (Agra dkk,1073).

Menurut Winarno (1992) amilosa merupakan fraksi pati yang terlarut. Molekul amilosa yang memiliki sifat hidrofilik dengan afinitas air yang tinggi menyebabkan amilosa pati semakin paralel dengan ikatan hidrogen. Apabila afinitas tersebut menurun maka ukuran pati akan membesar sehingga pada konsentrasi rendah akan terjadi presipitasi dan pada konsentrasi tinggi akan terbentuk gel.

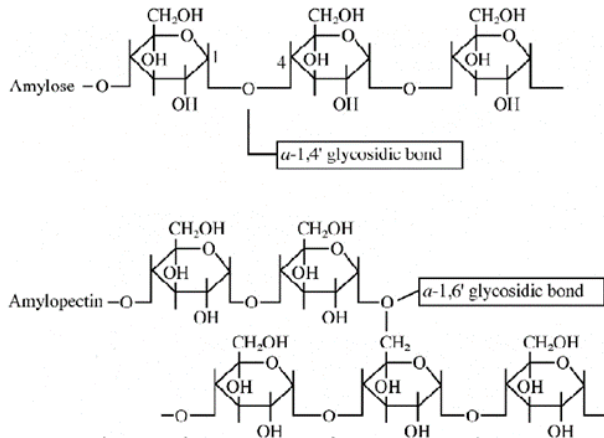
Amilopektin merupakan fraksi pati yang tidak larut. Berbeda dengan amilosa dengan struktur yang lurus, struktur amilopektin yang bercabang cenderung tidak sekuat dan sefleksibel amilosa (Winarno, 1992). Dalam struktur granula pati posisi amilosa dan amilopektin berada dalam suatu cincin-cincin dengan jumlah cincin sekitar 16 buah dalam suatu granula pati. Cincin-cincin dalam suatu granula pati tersebut terdiri atas lapisan-lapisan amorf dan cincin lapisan semi kristal (Hustiany, 2006). Struktur ikatan amilosa dan amilopektin dapat diamati pada Gambar 2.8.

Saat dipanaskan maka granula pati akan mengalami pengembangan dan bersifat tidak kembali ke bentuk semula yang disebut gelatinisasi. Proses gelatinisasi ini terjadi akibat hilangnya sifat polarisasi cahaya pada *hilum* yang akan tercapai pada titik temperatur tertentu. Ikatan granula yang bervariasi pada pati merupakan faktor yang menentukan besarnya temperatur untuk mencapai gelatinisasi. Kisaran temperatur gelatinisasi pada

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



kentang 57-87°C tapioka 68-92°C, gandum 50-86°C (Swinkels, 1985).



Gambar 2.8 Struktur Kimia Amilosa dan Amilopektin
(Eliasson, 2004)

Tabel 2.2 Properti Amilosa dan Amilopektin (Kusnandar, 2011).

Properti	Amilosa	Amilopektin
Struktur umum	Lurus	Bercabang
Ikatan	α -1,4	α -1,4 and α -1,6
Panjang rantai rata-rata	$\sim 10^3$	20-25
Derajat Polierisasi	$\sim 10^3$	10^4 - 10^5
Kompleks dengan iod	Biru (~ 650 nm)	Ungu-Coklat (~ 550 nm)
Kemampuan membentuk gel dan fim	Kuat	Lemah

Granula pati berwarna putih, mengkilat, tidak berbau, dan tidak berasa apabila dalam keadaan murni. Granula pati memiliki bentuk dan ukuran yang bervariasi. Bentuk, ukuran, dan sifat granula pati

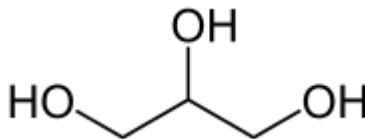
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



tergantung dari sumber patinya, ada yang berbentuk bulat, oval, atau tak beraturan (Anggesta M.E.P dan Fithri C.N, 2015).

2.7. Gliserol

Gliserol merupakan suatu trihidroksi alkohol $C_2H_5(OH)_3$ yang terdiri atas tiga atom karbon. Jadi tiap karbon mempunyai gugus $-OH$. Gliserol (1,2,3 propanetriol) merupakan cairan yang tidak berwarna, tidak berbau dan merupakan cairan kental yang memiliki rasa manis (Pagliaro dan Rossi., 2008). Struktur kimia dari gliserol adalah sebagai berikut:



Gambar 2.9 Struktur Kimia Gliserol
(Aripin, 2017)

Pembuatan gliserol dengan cara hidrolisis dapat dilakukan dengan bantuan katalis atau tanpa katalis. Hidrolisis tanpa katalis dilakukan pada temperatur $3730^{\circ}C$, sedangkan dengan katalis dapat dilakukan pada suhu $100^{\circ}C$. Katalis yang dapat digunakan bisa berupa katalis homogen (HCl dan H_2SO_4) dan katalis heterogen berupa resin (Yowi & Liew, 1999).

Gliserol banyak digunakan pada industri farmasi dan kosmetik. Pembuatan gliserol dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya melalui reaksi transesterifikasi, saponifikasi dan hidrolisis minyak (Rahayu dkk., 2005). Plasticizer gliserol berfungsi untuk meningkatkan elastisitas dengan mengurangi derajat ikatan hydrogen dan meningkatkan jarak antara molekul dari polimer. Semakin banyak penggunaan plasticizer maka akan meningkatkan kelarutan terutama yang bersifat hidrofilik akan meningkatkan kelarutan dalam air. Gliserol memberikan kelarutan yang tinggi dibandingkan sorbitol pada bioplastik berbasis pati (Aripin, 2017).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



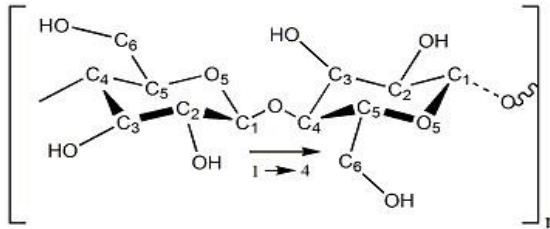
2.8. Selulosa

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati ($C_6H_{10}O_5$)_n. Fibril selulosa (ukuran mikro/nano) atau *selulose whisker* dapat di produksi dengan mudah dari serat kapas, nanoselulosa dapat di peroleh dari berbagai sumber seperti kayu, tumbuhan, alga dan bakteri (Anggorodi, 1994). Selulosa merupakan substansi yang tidak larut dalam air yang terdapat di dalam dinding sel tanaman terutama dari bagian batang, tangkai dan semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa merupakan homopolisakarida yang mempunyai molekul berbentuk linear (Lani, 2014). Struktur kimia selulosa ditunjukkan oleh gambar 2.11

Partikel selulosa memiliki banyak kegunaan dalam berbagai macam aplikasi, seperti bioteknologi, komposit, adsorben, emulsi dan dispersi, dan biomedis. Metode sintesis sangat berpengaruh terhadap ukuran partikel, kristalinitas, dan kemurnian nanoselulosa. Sehingga, perlu pendekatan lebih lanjut untuk mengetahui efektifitas berbagai metode yang digunakan para peneliti dalam melakukan sintesis selulosa.

Selulosa merupakan polimer yang paling berlimpah di Bumi yang mewakili sekitar 1.5×10^{12} ton dari total produksi biomassa tahunan merupakan material terbarukan, dapat didegradasi alam, serta tidak beracun. Selulosa terdapat pada kayu, kapas, rami, Jerami, ampas tebu dan bahan nabati lainnya. Pemurnian selulosa dari serat tanaman melibatkan treatment kimia yang terdiri dari ekstraksi alkali dan pemutihan/ bleaching. (Dufresne, 2013 dan Liu, 2012).

Selulosa terdiri dari ikatan glukosa-glukosa yang tersusun dalam suatu rantai linear dimana C-1 pada setiap glukosa berikatan dengan C-4 pada glukosa selanjutnya (Moon, dkk., 2011).



Gambar 2.10 Rantai Selulosa (Moon, dkk., 2011)

Aplikasi terbaharukan dari partikel nanoselulosa adalah material jenis baru dari selulosa yang ditandai dengan adanya peningkatan kristalinitas, aspek rasio, luas permukaan, dan peningkatan kemampuan dispersi serta biodegradasi. Adanya kemampuan ini, partikel nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* penguat polimer, aditif untuk produk-produk *biodegradable*, penguat membran, pengental untuk dispersi, dan media pembawa obat serta implan (Ioelovich, 2012).

Cara lain untuk memperoleh nanopartikel selulosa dengan rendemen tinggi adalah dengan prosedur mekanik. Pretreatment mekanikal, kimiawi, dan enzimatik digunakan untuk memecah serat dengan tujuan mengurangi penggunaan energi (Lee, Hamid, & Zain, 2014). Isolasi nanoselulosa dimulai dengan pemutihan residu padat dengan NaOH, kemudian dicuci dengan air dan ditambahkan NaOCl₂ untuk proses delignifikasi atau menghilangkan hemiselulosa, lignin, dan pektin. Prosedur berikutnya adalah defibrilasi selulosa menjadi nanoselulosa menggunakan sonifikasi (Microorganisms, 2013).

Tabel 2.3. Komposisi kimia *biomass* (Microorganisms, 2013).

Material	$\rho/g\ cm^{-3}$	σ_f (GPa)	E_A (GPa)	E_y (GPa)
Cellulose	1.6	7.5 7.7	– 110- 220	Oct-50

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



P = density, σ_f = *tensile strength*, E_A = elastic modulus in axial direction, E_v = elastic modulus in transverse direction

2.9. Sorbitol

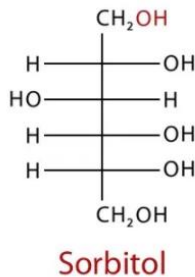
Sorbitol merupakan pemlastis yang efektif karena dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekuler, sehingga akan meningkatkan elastisitas plastik (Harahap, 2009). Sorbitol dapat diperoleh dari buah pir, apel, ceri, prem, persik, dan aprikot. Selain dari bahan alam, sorbitol juga bisa dibuat secara sintesis, seperti sirup, obat batuk anak, minuman bersoda, jus buah dalam kemasan dan gula jagung. Sorbitol memiliki rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ dan dapat di lihat pada gambar 2.11. Dari beberapa sumber sorbitol, gula jagung memiliki keunggulan dari segi ekonomi, yaitu harganya murah dan mudah didapat.

Keberhasilan pembentukan komposit atau polimer sangat tergantung pada banyak faktor salah satu di antaranya adalah formula senyawa-senyawa yang direaksikan dalam proses polimerisasi serta senyawa pendukung lainnya salah satunya plasticizers. *Plasticizer* yang 23 digunakan adalah gliserol dan sorbitol yang bertujuan untuk menurunkan kekakuan dari polimer dan memperbaiki sifat mekanik pada plastik tersebut (Ban, 2006).

Sorbitol sering digunakan dalam pencuci mulut dan pasta gigi. Gel transparan dapat dibuat hanya dengan sorbitol, karena ia memiliki indeks refraksi sangat tinggi untuk formulasi tembus pandang. Sorbitol juga sering digunakan di hampir semua permen karet (“bebas gula”).

Tabel 2.4. Sifat sorbitol (Ban, 2016)

Material	$\rho/g\text{ cm}^{-3}$	Titik leleh	Titik didih	Berat molekul
Sorbitol	1,489	95 °C	296 °C	182,17 gr/mol



Gambar 2.11 Rumus molekul Sobitol (Ban,2016)

2.10. Sifat Fisik dan Mekanik Biodegradable

Plastik *biodegradable* diartikan sebagai film kemasan yang dapat di daur ulang dan dihancurkan secara alami. Berdasarkan bahan bak yang dipakai, plastik *biodegradable* dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia dan kelompok dengan bahan baku produk tanaman seperti pati dan selulosa. Biodegradable sangat mudah terdegradasi karena disukai oleh bakteri mikroba, dan juga dapat digunakan sebagai kompos tumbuhan. (Maurizo, 2009). Karena sifat degradabelnya yang baik, diharuskan dapat memenuhi standar plastik Polypropilen dan High Density Poly Ethylene pada umumnya. Gambar 2.12 menunjukkan standar nilai kekuatan mekanik yang terdapat pada plastik kresek umumnya.

Tabel 2.5. Spesifikasi Produk King Hy-Pact (King Plastic Corp.)

Properties	Units	ASTM	Nominal Values
Density	g/cc	D1505	0.95
Tensile Strength @ Yield	p.s.i	D638	>4,100
Elongation @ Yield	%	D638	9,6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Flextural Modulus	p.s.i	D790	186,000
Durometer	Shore D	D2240	65
Izod Impact	Ft.lbs./in.2	D256	16.5
Britleness Temp.	°C (°F)	D746	<-90 °C(<-130 °F)
Viscat Softening Temp.	°C (°F)	D1525	130 °C (266 °F)
Heat Deflexion Temp. 66 p.s.i	°C (°F)	D648	75 °C (167 °F)
Coefficient of Linear Expansion	In/in/ °F	D696	6.0 x 10-5
Miller Number/ SAR Result	SAR	G75	3209
Taber	Index	D4060	5

King Plastic Corp merupakan produsen manufacturing pembuat plastik kresek PP dan HDPE. Di gambar dijelaskan bahwa nilai tensile strength standar produk plastik *King Plastic Corp* berkisar > 4,100 Gpa. Sedangkan *yild*-nya di angka 9,6 Gpa. Seperti yang disebutkan dalam penelitian yang di lakukan oleh Gacria,1996 bahwa nilai kekuatan Tarik PLA murni sebesar 5,00 gpa. Secara kekuatan Tarik dari PLA sebenarnya sudah memenuhi standar pembuatan plastik, namun terdapat juga kelemahan dari PLA yaitu elongation breaknya hanya sampai 10%. Maka dari itu dalam pembuatan biodegradable komposit bisanya di tambahkan unsur penambah seperti filler dan plastisizer untuk meningkatkan material properties dari PLA. Penambahan *plastisizer* akan cenderung meningkatkan elongation break namun menurunkan nilai tensile (Rasal, 2009).

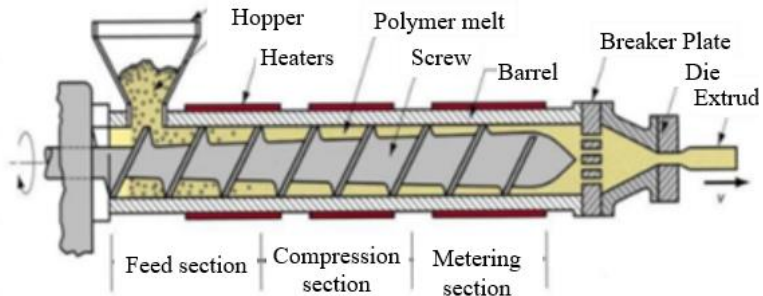
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.11. Teknologi Manufaktur

Laju pertumbuhan polimer sangat pesat, baik dalam volume, jumlah penggunaan maupun kemudahan pemrosesannya. Kemudahan tersebut yang membuat plastik kini populer dan bersaing dengan kepopulerannya besi baja. Dari banyak macam keuntungan dari polimer, salahsatunya terletak pada banyaknya cara pemrosesannya. Perlindungan permukaan, film untuk berbagai kegunaan, serat kain karpet dan berbagai macam bentuk cetakan. Sifat sifat produk fabrikasi menjadi acuan yang diinginkan pada proses manufakturing (Geyer, 2017)

Kemudahan pemrosesan juga dituntut dengan hasil yang efektif serta efisien. Yang populer digunakan salah satunya yaitu proses ekstrusi. Proses ekstrusi dipakai karena ekonomis, dan menguntungkan lingkungan untuk pembuatan film dan lembaran. Mekanisme prosesnya sangat mudah, komponennya terdiri dari skrup, hopper, berserta sumber panas, dapat dilihat pada gambar 2. 12. Raw material dimasukkan kedalam hopper ekstruder. Seringkali, pencampuran, peracikan, dan devolatilisasi juga terlibat dalam memproses formulasi yang mencakup aditif khusus, seperti antioksidan, pelunak, penghambat api, pelumas, pigmen, pengisi, dan polimer lainnya. Sekrup pengestrusi berputar mengangkut material melalui laras yang dipanaskan. Molten keluar yang diakibatkan oleh tekanan yang berada dalam ekstruder dan juga proses mekanik dari skrup. Film akhirnya terbentuk menyerupai cetakan injection. Optimalisasi proses membutuhkan pemahaman mendasar tentang sifat material dan karakteristik pengolahan. Adapun proses pembuatan film plastik kresek menggunakan blow film, yang juga prinsipnya hampir sama dengan injection dan extruder. Pemanasan raw material menjadi molten kemudian di blow dengan udara agar ketebalan produk terjadi sampai akhir. (Stevens, 1995).



Gambar 2.12 Mekanisme Ekstruder (Stevens, 1995)

2.12. Penelitian Terdahulu

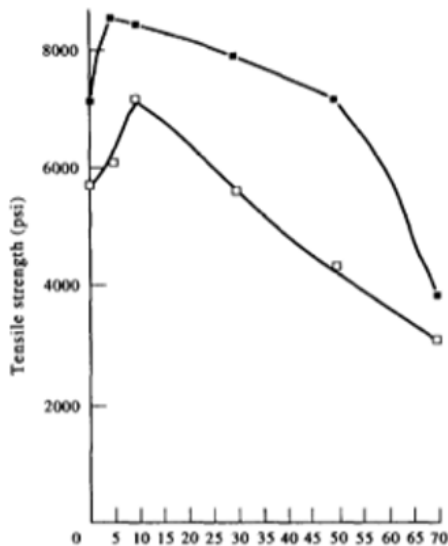
Pada penelitian yang dilakukan Gajria 1996. Poli (asam laktat) (PLA) dicairkan dengan gliserol dengan menggunakan extruder sekrup tunggal. Film terekstrusi yang diperoleh dicirikan untuk miscibility, sifat fisik, degradasi dan morfologi permukaan. Hasil yang diperoleh dari pengujian properti fisik menunjukkan bahwa campuran tersebut menunjukkan sinergisme dalam kisaran 5 sampai 30% gliserol, mungkin karena beberapa interaksi yang terjadi di wilayah tersebut. Studi degradasi enzimatik menunjukkan bahwa ada perbedaan besar dalam penurunan berat sampel PLA murni dan campuran PLA/Gly 95/5. Hasil tegangan permukaan menunjukkan bahwa ini disebabkan oleh perbedaan tegangan permukaan film PLA murni dan campuran 95/5. Campuran bebas bintik menunjukkan degradasi maksimum, diikuti dengan umur diekstrusi dan kemudian rusak. Scanning electron micrographs menunjukkan bahwa cara degradasi berbeda untuk sampel umur dan yang didelegasikan. Pola degradasi seragam terlihat pada sampel yang direkonstruksi sedangkan sampel umur menunjukkan pola degradasi yang tidak seragam.

Pengolahan pelet PLA dan gliserol dikeringkan dengan perbandingan berat berikut: 100/ 0, 95/ 15, 90/ 10, 70/30, 50/ 50, 30/ 70 dan 0 / 100, di mana angka pertama dalam rasio ini mewakili PLA sedangkan yang kedua mewakili gliserol.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Campuran ini kemudian dilebur dicampur dengan extruder sekrup sinetron (Brabender Inc.) dengan perbandingan L / D 25: 1. Secara keseluruhan, ada lima zona pemanas. Tiga yang pertama mewakili zona ekstruder, zona keempat adalah untuk adaptor dan yang terakhir untuk die. Film diekstrusi secara vertikal ke bawah ke gulungan air dingin. Tipe push-pull 102 mm (4in) digunakan. Ketebalan dijaga dengan menyesuaikan kecepatan pick-up gulungan. Semua film memiliki ketebalan rata-rata -0,06 mm (0,0025 in).



Gambar 2.13 Nilai Tensile Strength Terhadap Penambahan Gliserol (Gajria, 1996)

Didapatkan hasil uji mekanis. Uji coba film dilakukan dengan menggunakan tester Instron 1137 dengan sel beban 90,1 kg (2001b) mengikuti ASTM D882-90. Panjang gauge dijaga pada 102mm (4 inci) dan ketebalan masing-masing sampel diukur sebelum pengujian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Nilai untuk komposisi SO / SO hampir sama dengan PLA murni. Dalam kasus sampel yang direkonstruksi, komposisi 95/5 dan 90/10 menunjukkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada PLA murni. Namun, kekuatan tarik menurun untuk komposisi 70/30 dibandingkan dengan PLA murni. Terkait dengan penuaan fisik. Hal ini juga tidak mengejutkan untuk mengamati peningkatan perpanjangan persen sampel yang direkonstruksi (dari 8,7 menjadi 20,7% untuk kasus film PLA murni) Karena material menjadi lebih fleksibel karena peningkatan volume bebas setelah deageing. Awalnya dihipotesiskan bahwa kenaikan sifat mekanik di atas kisaran komposisi 5- 30% gliserol bisa jadi karena efek penuaan fisik. Namun, kecenderungan sifat tetap tidak berubah bahkan setelah deageing sampel. Hal ini membuat kita percaya bahwa beberapa jenis sinergisme ada dalam komposisi campuran PLA/gliserol yang mengandung gliserol hingga 30%, dan menunjukkan bahwa sistem tersebut dapat tercampur dalam kisaran tertentu.

Campuran menunjukkan nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi antara 5 dan 30% gliserol. Perpanjangan persen juga terlihat meningkat untuk campuran 95/15. Pada deageing sistem campuran tren ini diamati masih ada, yang menunjukkan bahwa perbaikan sifat fisik bukan karena penuaan fisik, melainkan pada beberapa interaksi positif antara kedua polimer dalam komposisi campuran tersebut. Hasil yang diperoleh dari degradasi enzimatis menunjukkan bahwa penambahan gliserol ke PLA menghasilkan penurunan dramatis dalam tingkat degradasi. Sampel yang terinduksi bebas dan anil menunjukkan degradasi tertinggi dan terendah. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara penurunan berat sampel yang diobati secara berbeda. Analisis tegangan permukaan menunjukkan penjelasan yang mungkin untuk perbedaan tingkat degradasi antara PLA murni dan 95/15 PLA / gliserol. Ada perbedaan besar dalam ketegangan permukaan keduanya, dengan PLA murni menunjukkan tegangan permukaan yang lebih tinggi yang dapat memberikan adhesi lebih baik untuk enzim. Analisis SEM menunjukkan bahwa sampel umur memiliki

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



pola degradasi yang tidak seragam sedangkan sampel yang dirujuk memiliki pola yang lebih seragam.

Selanjutnya pada penelitian yang dilakukan oleh Li, 2010. Pencampuran PLA dengan konsentrasi plasticizer sorbitol dan glikogen bervariasi dari 30 sampai 42% dan kadar TPS/ PLA bervariasi antara 27 sampai 60% berat. Poli (asam laktat), yang dipasok oleh NatureWorks, adalah kelas semikristalin (PLA 4032D) yang terdiri dari sekitar 2% D-LA. Tepung gandum, Supergel 1203, disediakan oleh ADM-Ogilvy. Modifikasi reaktif PLA dilakukan dengan menggunakan maleat anhidrida (95% murni) dan 0,25% dari pelarut peroksida 2,5-dimetil-2,5-di (tert-butilperoksi) heksana (Luperox 101V R atau L101) yang diperoleh dari *Aldrich Chemical Company*. Inisiator peroksida diadsorpsi pada dukungan silika dengan kadar efektif 45%. PLA maleat anhidrida dicangkokkan sesuai dengan metode yang dijelaskan pada penelitian sebelumnya.¹⁰ Menurut literatur, tingkat pencangkokan dengan teknik ini adalah sekitar 0,5%.²² D-Sorbitol diperoleh dari *Aldrich Chemical Company* dengan kemurnian 98%. Gliserol adalah 99,5% nilai USP murni yang dipasok oleh *Mat Laboratories*.

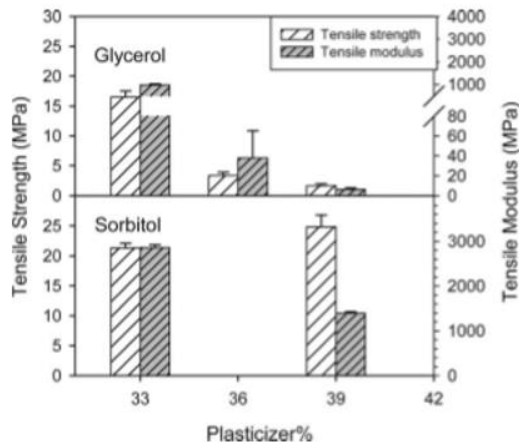
Pengisian *plastisizer* dicangkokkan PLA (PLAg). PLA dan PLAG hanya dicampur kering sebelum diekstrusi. Rasio sorbitol / gliserol bervariasi dari 0: 36, 12: 24, 24: 12, 36: 0, mempertahankan kandungan *plasticizer* total 36% pada TPS berdasarkan berat. Temperatur ekstruder diatur ke 140 ° C untuk paruh pertama alat pengestrusi yang didedikasikan untuk dietisasi pati dan pemindahan air. Pada bagian ekstruder kedua yang didedikasikan untuk pencampuran PLA / TPS, suhu ekstruder diatur ke 180 ° C. Kecepatan putaran sekrup diatur ke 100 rpm dan campuran diekstrusi dengan kecepatan 10 kg/h melalui twostrand die. Kandungan TPS dalam campuran paling banyak ditetapkan menjadi 27% berat tetapi dicampur dengan 42 dan 60% berat TPS berlapis sorbitol juga diproduksi untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi sorbitol-TPS pada morfologi campuran. Untai didinginkan dengan air dan dilapisi tepung. PLA dan PLAG

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

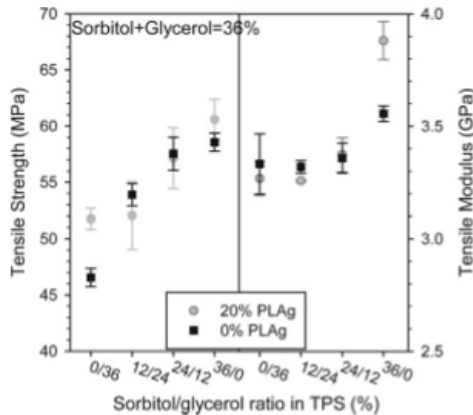


dikeringkan sebelum dilakukan penggilingan pada pengering pengering pada suhu 60 ° C selama paling sedikit 24 jam dan pelet majemuk dikeringkan lagi pada kondisi yang sama sebelum pencetakan injeksi dan analisis selanjutnya. Selain campuran PLA / TPS, pita TPS murni yang dilipat dengan gliserol dan sorbitol diproduksi dalam kondisi yang sama dengan yang ada pada bagian gelatinisasi proses peracikan. Tujuannya adalah untuk menilai struktur TPS di akhir zona gelatinisasi, sebelum pencampurannya dengan PLA.

Disebabkan adanya kandungan *plasticizer* meningkat dari 33 menjadi 39%, modulus tarik dan kekuatan untuk TPS terlipat sorbitol tetap relatif stabil, dengan kekuatan tarik tinggi di atas 20 MPa, dan modulus tarik tinggi sekitar 3 GPa. Namun, untuk TPS plastic gliserol, kekuatan tariknya memiliki nilai lebih rendah 17 MPa, dan modulus tarik yang lebih rendah sekitar 1 GPa.



Gambar 2.14 Nilai kekuatan Mekanik Berdasarkan Penambahan *Plastisizer* (Li,2010)



Gambar 2.15 Nilai Kekuatan Mekanik PLA Berdasarkan Penggabungan *Plastisizer* 36% (Li, 2010)

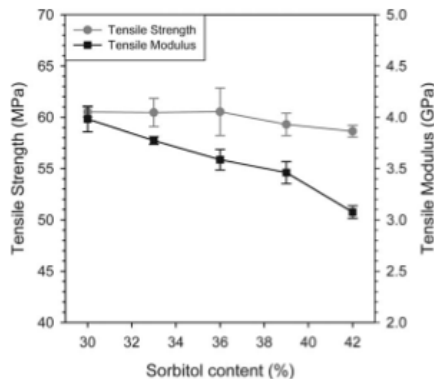
Karena kandungan gliserol meningkat di atas 36%, kekuatan tarik menurun drastis, turun ke nilai serendah 5 MPa dan modulus berkurang di bawah 20 MPa. Gambar 2.15 menunjukkan sifat tarik dari campuran TPS / PLA 27% dan khususnya efek substitusi gliserol oleh sorbitol pada kekuatan tarik dan modulus. Tingkat *plasticizer* total di TPS dipertahankan pada 36% dalam semua campuran. Seperti yang diharapkan dari hasil yang diperoleh pada TPS murni, kekuatan tarik meningkat saat gliserol diganti secara progresif oleh sorbitol. Kekuatan tarik meningkat dari 47 MPa untuk campuran plastik gliserol menjadi 59 MPa untuk campuran plastisitas sorbitol (complete substitution). Modulus juga meningkat dari sekitar 3,3 GPa, untuk campuran gliserol-plasticized menjadi 3,5 GPa untuk campuran plasticized sorbitol yang tidak kompatibel. Transfer *plasticizer* yang lebih rendah dibahas sebelumnya, morfologi yang lebih halus yang diamati dengan sorbitol dan kekuatan sorbitol-TPS secara intrinsik lebih tinggi karenanya memiliki manfaat yang jelas dalam hal kekakuan dan kekuatan material. Kompatibilitas campuran sorbitol-plasticized menggunakan PLAG meningkatkan modulus dan kekuatan masing-masing menjadi 3,9 GPa dan 60 MPa. Dengan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



demikian, penurunan tegangan antarmuka dan peningkatan adhesi antar muka telah berkontribusi terhadap kenaikan properti. Nilai ini sangat dekat dengan yang diukur untuk PLA murni (3,7 GPa dan 69 MPa, masing-masing). Dalam hal sifat akhir, semua bahan memamerkan elongasi rendah saat istirahat seperti yang diharapkan dari sifat rapuh PLA. Semua nilai antara 4 dan 4,7% dan tidak menunjukkan kecenderungan yang signifikan sebagai fungsi substitusi gliserol. Gambar 11 menyajikan kekuatan tarik dan modulus sebagai fungsi kandungan sorbitol dalam 27% TPS.

Campuran PLA, kekuatan tarik tetap sekitar 60 MPa dalam keseluruhan isi sorbitol yang diselidiki. Modulus tarik sedikit menurun dari 3,9 menjadi sekitar 3,0 GPa karena kandungan sorbitol terdorong hingga 42%. Efek sorbitol yang relatif lemah adalah argumen lain yang mendukung bahwa sorbitol tidak cenderung bermigrasi ke matriks. Efek dari konten TPS pada sifat tarik campuran juga diselidiki dan dilaporkan pada Gambar 12. Kandungan *plasticizer* dalam fase TPS diatur ke 36%. Anehnya, untuk campuran sorbitol-TPS / PLA, modulus tarik sedikit meningkat dari 3,6 menjadi 3,9 Gpa.



Gambar 2.16 Nilai kekuatan Mekanik terhadap penambahan sorbitol (Li,2010)



Nilai kekuatan tarik edikit menurun dari 60 menjadi 52 MPa, karena kandungan TPS meningkat dari 27 menjadi 60%. Sebaliknya, kekuatan tarik campuran gliserol-TPS / PLA menurun dari 44 menjadi 27 MPa, dan modulus tarik turun dari 2,8 menjadi 1,8 MPa pada kadar TPS yang sama.¹⁰ Kekuatan tarik dan modulus yang lebih tinggi untuk campuran sorbitol-TPS / PLA secara langsung terkait dengan sifat tarik tinggi sorbitol-TPS yang dibahas pada Gambar 2.16

Sedangkan Suyatma 2004 melakukan pencampuran film biodegradable dari *Chitosan* dengan poli (asam laktat) (PLA) dibuat dengan. Tujuan utama campuran ini adalah memperbaiki penghalang uap air dari citosan dengan mencampurnya dengan polimer biodegradable hidrofobik dari sumber daya terbarukan. Citosan yang digunakan adalah bahan komersial yang diperoleh dari kulit udang (Les Pêcheries Marinard Ltd., Kanada). Tingkat deasetilasinya adalah 80-85%, ditentukan dengan metode koloid. PLA (92% L-Lactide dan 8% mesolaktida) diberikan sebagai pellet. Kedua larutan tersebut kemudian dicampur dengan pengaduk magnet sampai larutan homogen diperoleh. Film campuran diperoleh dengan casting pada piring Petri dan menguap pada suhu kamar selama 1-3 hari di bawah vakum. Komposisi akhir (*Chitosan* / PLA) adalah 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, dan 0/100 (w / w). *Chitosan* di peroleh dari Cargil Dow (USA). Berat molekul rata-rata 49.000 ditentukan oleh pengukuran viskositas intrinsik dalam kloroform pada suhu 25 ° C. Pelarutnya adalah asam asetat dan kloroform yang dibeli dari Aldrich (AS).

Sifat mekanik campuran citosan / PLA, dan juga komponen murni, ditunjukkan pada Tabel 2.7. Ketika melihat karakteristik polimer murni (komposisi 100/0 dan 0/100), dapat dilihat bahwa kitosan memiliki kualitas yang lebih baik. kinerja dari PLA. Sebagai konsekuensinya, semua campuran menunjukkan penurunan modulus Young, kekuatan tarik, dan EB dengan peningkatan kandungan PLA. Penulis lain telah melaporkan bahwa *Chitosan* dan PLA adalah bahan rapuh. Padahal, mereka memiliki modulus tinggi dan kekuatan tarik tinggi namun pemanjangan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



rendah. Telah diketahui dengan pasti bahwa sifat mekanik dapat digunakan untuk menilai ketidakcocokan dalam campuran polimer melalui perbandingan hasil eksperimen dan prediksi berdasarkan berbagai model. Memang, sifat mekanik campuran polimer bergantung pada gaya antarmolekul, kekakuan rantai, dan simetri molekuler polimer individu yang digunakan untuk membuat campuran. Selanjutnya menurut Willemse dkk, modulus tarik campuran polimer sangat bergantung pada komposisi dan morfologi campuran, dan secara teoritis, terletak di antara batas atas yang diberikan oleh model parallel.

Tabel 2. 7 *Mechanical Properties of Chitosan/ PLA*

Composition	TS (MPa)	EB (%)	Young's modulus (MPa)
Chit/ PLA : 100/0	82.4 (8.5)	5.2 (0.9)	534 (44)
Chit/ PLA : 90/10	72.7 (1.8)	4.9 (0.5)	470 (20)
Chit/ PLA : 80/20	64.4 (5.1)	4.2 (0.9)	433 (3.5)
Chit/ PLA : 70/30	54.5 (2.9)	4.1 (0.5)	406 (51)
Chit/ PLA : 0/100	52.5 (5.9)	3.6 (0.5)	384 (35)

TS, *tensile strength*; EB, *elongation at break*; Chit, *chithosan*; PLA, *poly (lactic acid)*.

Chitosan adalah polimer biodegradable yang menjanjikan untuk kemasan makanan aktif. Namun, karena kepekaannya terhadap kelembaban, kami telah memadukannya dengan PLA, sehingga mendapatkan campuran film biodegradable yang sepenuhnya dari sumber daya terbarukan. Sifat termal dan mekanik campuran kitosan / PLA menunjukkan bahwa pemisahan fasa dalam campuran telah terjadi, yang mengindikasikan ketidakcocokannya. Karakteristik mekanis campuran mengurangi kenaikan kandungan PLA. Selain itu, analisis FTIR menunjukkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



tidak ada interaksi spesifik antara kitosan dan PLA. Terlepas dari ketidak cocokannya, penggabungan PLA dapat memperbaiki penghalang uap air dan hidrofobisitas kitosan.

Hasil nilai *tensile* yang di lakukan oleh Zakaria tahun 2013 pada Asam polylactic (NatureWork PLA 300ID) dalam bentuk pellet dari Minnetonka, MN USA. Ini memiliki gravitasi spesifik 1.24g / cm³ dan indeks aliran meleleh (LKM) 15g/ 10min (190 °C/ 2.16kg). Citosan yang tersedia secara komersial (grade praktis 75% DD) dari sigma Aldrich digunakan sebagai pengisi penguat. Epoxidised natural rubber (ENR) dengan 25mol% epoxidation (grade EPOXYPRENE 25) dan berat jenis 0,97, yang digunakan dalam penelitian ini, telah digunakan di dalam Malaysian Rubber Board, Malaysia. ENR-25 digunakan sebagai compatibilizer. Pelarut yang digunakan waschloro form secured from Merck, Malaysia. Larutan pelarut PLA 10% wt dalam kloroform dibuat dengan mengaduk larutan di dalam bak air pada suhu 60 °C, sampai pelet dilarutkan sepenuhnya sekitar 2 jam. Larutan PLA segera dilemparkan ke dalam gelas dan tahan api selama pengondisian suhu sekitar 48 jam. Tabel komposisi paduan dapat di lihat pada tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Tabel komposisi Paduan PLA/ *Chitosan/ Epoxidized natural rubber* (Zakaria, 2013).

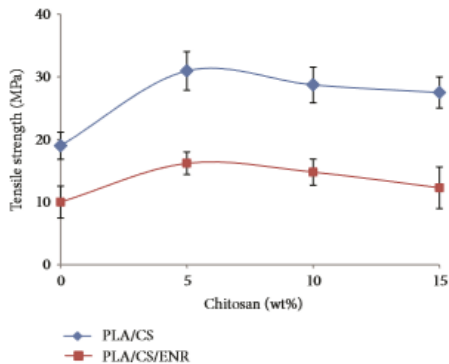
	PLA	CS (phr)	ENR (phr)	Designation
PLA	100	—	—	PLA
PLA/CS	100	5	—	PLA 5CS
	100	10	—	PLA 10CS
	100	15	—	PLA 15CS
PLA/ENR	100	—	20	P/ENR
PLA/CS/ENR	100	5	20	P/ENR 5CS
	100	10	20	P/ENR 10CS
	100	15	20	P/ENR 15CS

PLA: Polylactic acid; CS: chitosan; ENR: epoxidised natural rubber.

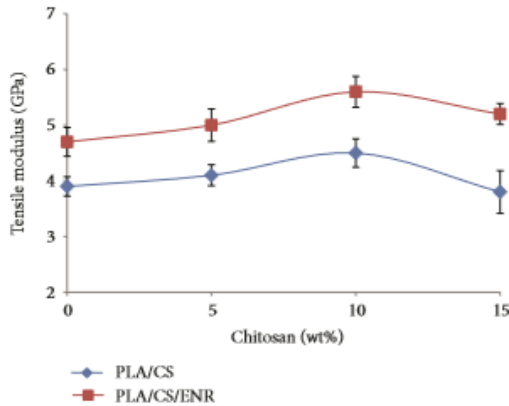
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Secara umum kedua kekuatan tarik dan modulus tarik komposit meningkat pada penambahan CS sebagai pengisi penguatan. CS bertindak sebagai pengisi penguat dan berinteraksi secara menarik dengan polimer berbeda yang menghasilkan peningkatan panjang gelombang dan voltase modulus. Gambar 2. 17 memperlihatkan pengaruh penambahan % filler *Chitosan* terhadap nilai tensile PLA. Sedangkan pada gambar 2. 18 memperlihatkan modulus elastisitas akibat penambahan % filler *Chitosan* terhadap nilai PLA.

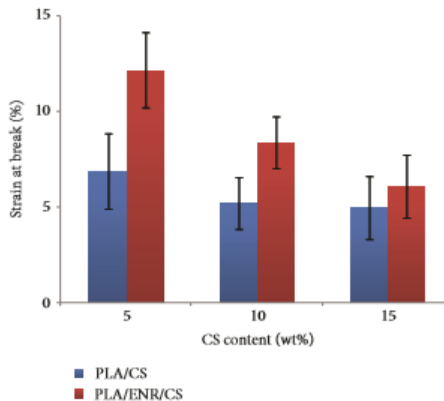


Gambar 2.17 Pengaruh penambahan % filler *Chitosan* terhadap nilai tensile PLA (Zakaria, 2013).



Gambar 2. 18 Nilai Modulus elastisitas akibat penambahan % filler *Chitosan* terhadap PLA (Zakaria, 2013).

Sedangkan pada penambahan *Epoxidized natural rubber* (ENR) sebagai *plastisizer* dalam PLA/ dan CS nilai tensilnya sangat berpengaruh besar. Gambar 2. 19 Pengaruh penambahan *plastisizer* ENR terhadap PLA/ CS.



Gambar2.19 Pengaruh penambahan *plastisizer* ENR terhadap PLA/ CS (Zakaria, 2013).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pengujian FT-IR merupakan metode yang terkenal dan banyak digunakan untuk menyelidiki interaksi intermolekul dan perilaku fase antara polimer. Dalam penelitian ini, interaksi antara PLA, CS, dan ENR diselidiki dengan spektroskopi FT-IR dan ditunjukkan pada Gambar 1. Spektrum FTIR PLA rapi (Gambar 1 (a)) dengan jelas menunjukkan karakteristik serapan bandintheregion dari 3500-3600 cm^{-1} , 2946-2999 cm^{-1} , dan 1757 cm^{-1} karena lekukan O dan melengkung, getaran peregangan asimetris C-H, dan C = O peregangan getaran, masing-masing. Spektrum FTIR PLA juga menunjukkan adanya band pada 1448 cm^{-1} untuk peregangan C-H pada CH₃ dan 957 cm^{-1} dan 867 cm^{-1} untuk ikatan tunggal C-C. Sebaliknya, dapat dilihat dari Gambar 1 (b) bahwa pita serapan karakteristik PLA pada 3418 cm^{-1} dan 2918 cm^{-1} , yang disebabkan oleh O-H dan C = O peregangan vibrasi, telah meningkatkan arus bor dengan intensitas narrowband pada penggabungan CS. Juga ditemukan bahwa intensitas pita menonjol pada 2946 - 2999 cm^{-1} dan 3504 m^{-1} telah menurun secara signifikan oleh penambahan CS.

Oleh karena itu, dapat diperkirakan bahwa CSadequately terdispersi dalam matriks PLA dengan beberapa tingkat interaksi antara -PLA-CScomposites. Similarresultum telah dilaporkan oleh peneliti lainnya. Gambar 1 (c) dan 1 (d) mewakili spektrum FT-IR masing-masing PLA / ENRandPLA / CS / ENRcosit, ditemukan pada sampel parameterum dari penyerapan THA / ENRin theregionof 3500-3600 cm^{-1} and1757 cm^{-1} dueto hydroxyl (O-H) dan C = O telah bergeser ke arah angka gelombang yang lebih rendah saat CS ditambahkan ke dalam matriks PLA / ENR. Pergeseran biru ini menunjukkan beberapa tingkat interaksi dan pembentukan komposit PLA / CS / ENR. Hal ini juga menarik untuk tidak mengukur secara serentak pada tingkat intensitas yang sama dengan 3500 sampai 3600 cm^{-1} dan1757 cm^{-1} yang dipertimbangkan dan diproduksi secara terpisah (3405 cm^{-1}) pada komposit PLA / CS / ENR. Semua ini mengarah pada dispersi dan interaksi yang baik antara PLA, ENR, dan CS, yang secara signifikan mengubah karakteristik morfologis dari kompositnya. ENR berfungsi sebagai compatibilizer untuk PLA / CS dengan

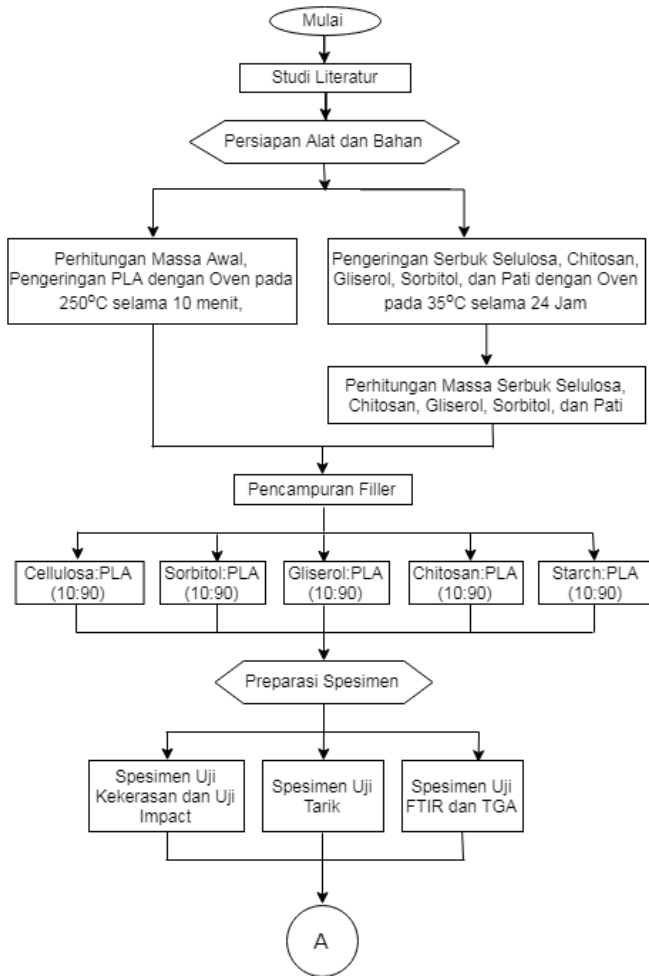
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

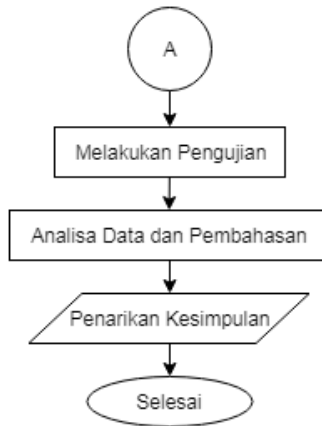


meningkatkan interaksi yang menarik yang mengarah pada perbaikan yang diamati pada properti komposit (Zakaria, 2013).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Bahan Penelitian

Dalam suatu penelitian diperlukan bahan untuk menunjang keberhasilan suatu penelitian tersebut. Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar dibawah ini.

1. Polylactic Acid

Polylactic Acid merupakan bahan utama untuk campuran biobased komposit ini, yaitu berupa pelet pellet bijih plastic yang nantinya akan dimasukkan dan dicampurkan ke dalam extruder. PLA diperoleh dari Amerika Natureworks dalam bentuk *pellet*. seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1 Sertifikat PLA As Received Amerika Natureworks

Sifat	Metode Test	Satuan	Nilai Uji
Density	D1505	g/cc	1.24
Tensile Strength	D882	KPsi	1521
Tensile Modulus	D882	KPsi	500 550



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Elongation at Break	D882		180 100
Melting Point	D3418	°C	155~170
Glass Transition temperature	-	°C	55~60
Elmendorf Tear	D1922	g/mil	1714



Gambar 3.2 Polylactic Acid (PLA).

2. Chitosan

Chitosan merupakan kithin, yang terbuat dari bahan limbah kulit udang. Biasanya lazim ditemukan pada hewan -hewan bersubklas *crustasea*. Chitosan baik digunakan karena mudah terdegradasi dengan lingkungan (Dutta, 2009), ditunjukkan oleh gambar 3.3



Gambar 3.3 Chitosan.



3. Pati Singkong

Pati singkong merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matrik PLA yang berbentuk serbuk berwarna putih. Pati gandum yang digunakan diperoleh dari supermarket Super Indo seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Pati Singkong.

4. Selululosa (MCC)

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati. Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan (Anggorodi, 1994). MCC merupakan kristal selulosa berukuran mikro. Partikel selulosa memiliki banyak kegunaan dalam berbagai macam aplikasi, seperti bioteknologi, komposit, adsorben, emulsi dan dispersi, dan biomedis. Ditunjukkan oleh gambar 3.6



Gambar 3.6 Selulosa (MCC)



5. Sorbitol

Sorbitol dapat diperoleh dari buah pir, apel, ceri, prem, persik, dan aprikot. Selain dari bahan alam, sorbitol juga bisa dibuat secara sintetis, seperti sirup, obat batuk anak, minuman bersoda, jus buah dalam kemasan dan gula jagung. Sorbitol sering di temukan pada proses pembuatan roti dan permen. Ditunjukkan oleh gambar 3.7.



Gambar 3.7 Sorbitol.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Wadah Aluminium
Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material.
2. Timbangan Digital
Timbangan digital pocket digunakan untuk menimbang massa bahan campuran.
3. Spatula
Spatula digunakan untuk mengambil material untuk dicampur.
4. Pipet Kaca
Pipet digunakan untuk mengambil larutan kimia dan membantu pengukuran volume larutan yang diambil.
5. Pemanas (*Hot Plate*) dan Pengaduk Magnetik (*magnetic stirrer*)



Hot plate dan *magnetic stirrer* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material milik Departemen Teknik Material ITS

6. Cetakan Kayu
Cetakan Kayu digunakan untuk membuat spesimen pengujian.
7. Oven Listrik
Oven listrik digunakan sebagai alat untuk proses pemansan cetakan.
8. Alat Uji FTIR
Alat uji FTIR yang digunakan milik divisi karakterisasi material di Departemen Teknik Material FTI ITS
9. Alat Uji SEM
Alat uji SEM yang digunakan milik divisi karakterisasi material di Departemen Teknik Material FTI ITS
10. Instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA)
Digunakan untuk mengukur stabilitas termal dari komposit biobased ini.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah komposisi pengisi (chitosan, pati singkong, gliserol, selulosa dan sorbitol) terhadap matriks Komposit PLA dengan presentase *filler*(10%)/PLA.

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang akan dilakukan hingga didapatkan hasil berupa *biodegradable* komposit:

1. Mempersiapkan semua alat dan bahan.
2. Pengeringan *filler* (*Chitosan*, pati singkong, gliserol, selulosa dan sorbitol) dengan menggunakan oven selama 24 jam pada temperatur 35 °C.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

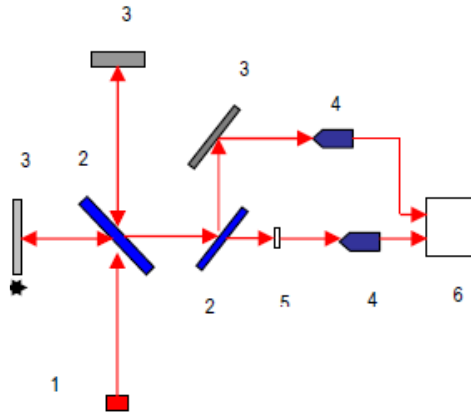


3. Mengukur massa campuran matriks dengan perbandingan komposisi massa (PLA/ Pengisi) 90/10 dengan variasi pengisi *Chitosan*, Pati Singkong, Gliserol, Selulosa dan Sorbitol.
4. Memanaskan dan mencampurkan matriks PLA dengan menggunakan *hotplate* pada temperatur 250 °C. Variasi pengisi dan diaduk menggunakan manual *stirring* selama 5 menit hingga homogen.
5. Menuangkan hasil campuran ke dalam cetakan kayu untuk dijadikan spesimen sesuai pengujian.
6. Spesimen di-*curing* di ruangan pada temperatur kamar 5 jam, tanpa ada pemberian laju pemanasan.
7. Melakukan pengujian mekanik, biodegradasi, dan temperature terhadap spesimen.

3.6 Pengujian

1. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

FTIR merupakan instrument yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya (Anam. 2007). Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak (Chusnul. 2011). Spektrum inframerah dihasilkan dari pen trasmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Marcott (1986) Anam (2007)).



Gambar 3.8 Skema alat spektroskopi FTIR (Anam dkk, 2007)

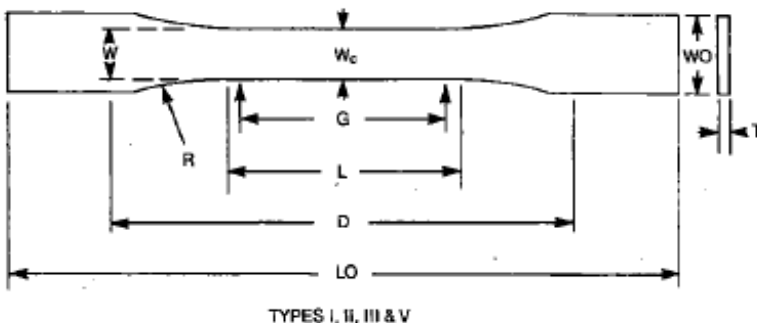
Gambar 3.8 menunjukkan skema alat spektroskopi, angka 1 menunjukkan sumber inframerah yang ditembakkan ke pembagi berkas (beam splitter), lalu inframerah diteruskan ke sampel uji (5), setelah melewati benda uji kemudian melewati sensor inframerah, dan menghasilkan gambar akhir (Anam dkk, 2007).

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa cuplikan kecil dari material yang dibuat. Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sampel diletakkan *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan pada sampel. Pastikan sampel uji memiliki permukaan yang rata dan ketebalan yang sama.



2. Uji Tarik

Uji tarik yang akan dilakukan pada praktikum ini sesuai dengan standar American Society for Testing Materials ASTM D638, dengan bentuk spesimen berukuran 25x250 mm, tebal 2,5mm tipe I. Uji tarik dengan spesimen menggunakan standar ASTM D638 untuk menganalisa perilaku komposit dengan pembebanan hingga kekuatan tarik maksimum dengan dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan penjelasan kriteria dimensi setiap tipe pada Tabel 3.2.



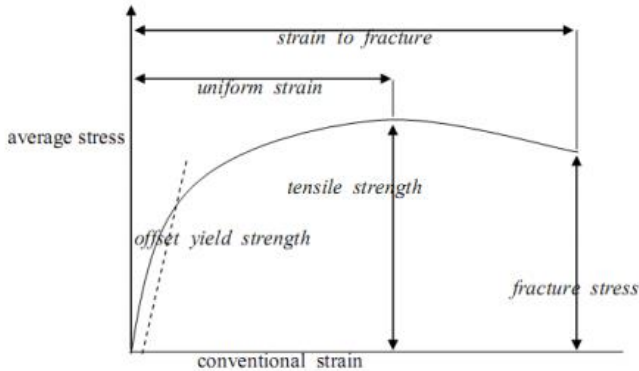
Gambar 3.10 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638

Tabel 3.2 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638

Dimensi	Tipe I (mm)	Tipe II (mm)	Tipe III (mm)	Tipe V (mm)	Toleransi (mm)
W	13	6	19	3.18	± 0.5
L	57	57	57	9.53	± 0.5
WO	19	19	29	9.53	± 6.4
LO	165	183	246	63.5	Min
G	50	50	50	7.62	± 0.25
D	115	135	115	25.4	± 5
R	76	76	76	12.7	± 1
T	≤ 7	≤ 7	14-Jul	≤ 4	-



Hasil pengujian tarik adalah kurva antara ΔF dan Δl . Kemudian akan diubah menjadi kurva engineering stress-strain, seperti Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kurva Tegangan Regangan ASTM D638

Untuk mendapatkan kurva engineering stress-strain dari kurva antara ΔF dan Δl adaah dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.1}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.2}$$

σ = Engineering Stress (N/mm²)

F = Beban yang diberikan (N)

A = Luas penampang (mm²)

ε = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L = Panjang setelah pembebanan (mm)

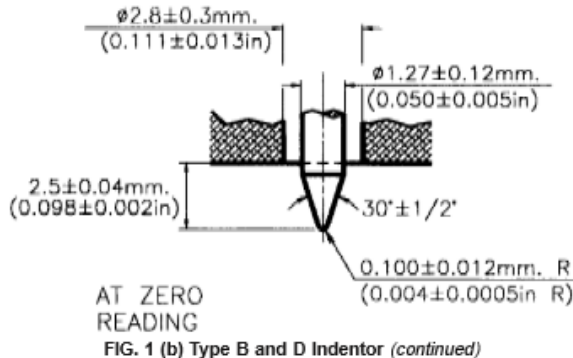
3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar pengujian ASTM D2240 dengan ketebalan spesimen minimal 6 mm, dengan menggunakan alat durometer pada gambar 3.12. Uji kekerasan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



durometer yang dilakukan pada spesimen penelitian ini dilakukan dengan skala Shore-D. Bentuk indenter yang digunakan dalam uji kekerasan ini sesuai dengan ASTM D2240 ditunjukkan oleh gambar 3.11.



Gambar 3.11. Indenter Untuk Uji Kekerasan Durometer Shore-D (ASTM D2240)



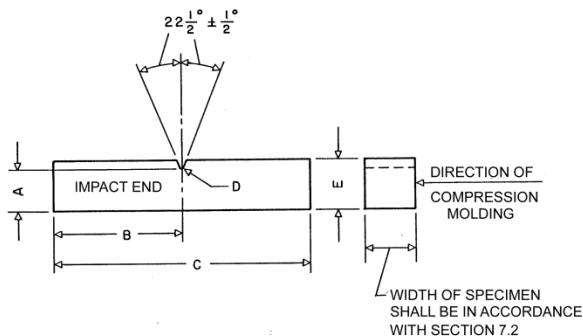
Gambar 3.12 Alat Durometer Shore D



4. Pengujian Impact

Pengujian impak dilakukan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kemampuan dari material komposit PLA terhadap serangan impak.

Pengujian Impact dilakukan dengan spesimen standar sesuai dengan ASTM D256 dengan ukuran spesimen 63,5 x (3-12,7) mm, ketebalan 12,7 mm, dan notch dengan kedalaman 2,54 mm dan kemiringan $22,5^\circ$ berada pada 31,8 mm dari tepi spesimen, spesifikasi spesimen tersebut seperti yang di gambarkan oleh gambar 3.14. Pengujian impact dilakukan dengan metode *charpy*. Alat yang digunakan bermerek Wolfrund dengan beban impak maksimum 150 J seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.13. Ukuran Spesimen Uji Impact (ASTM D256)



Gambar 3.14 Mesin Uji Impak *Charpy*

5. Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA).

Pengujian dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil campuran komposit biobased. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur tinggi. Alat TGA pada Gambar 3.15 dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sampel di atas meja putar yang ada di dalam mesin. Selanjutnya dilakukan pengisian data berat awal untuk masing – masing sampel ke dalam sistem komputer di mana berat maksimal 20 mg. Kondisi dalam mesin dialiri udara kering dari tabung gas dengan kecepatan pengaliran tertentu. Program pengoperasian mesin berupa kecepatan pemanasan, jarak temperatur, dan pendinginan dilakukan dengan melalui pemasukan data ke komputer. Analisa dilakukan dengan menaikkan temperatur secara bertahap dan analisa berat terhadap temperatur, sehingga didapatkan kurva hasil pengujian berupa fungsi temperatur terhadap berat sampel.



Gambar 3.15. Instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA).

6. Uji Biodegradasi

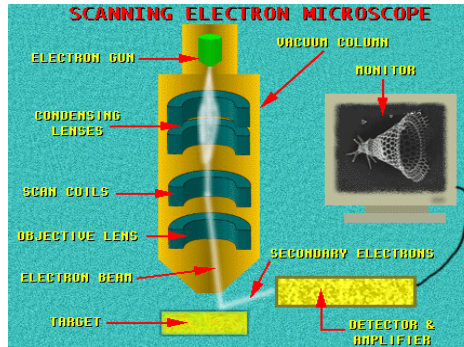
Pengujian biodegradabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan terdegradasi secara alami pada suatu material. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metoda pengomposan tanpa tambahan bakteri atau mikroorganisme. Proses pengomposan dilakukan dengan menanam spesimen uji pada area tanah selama 5 minggu dengan pengecekan massa dan volume setiap satu minggu.

7. Uji Morfologi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Metoda SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari suatu material berdasarkan standar ASTM E986. SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan pembesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran $< \sim 10\text{nm}$ pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

film fotografi atau ke dalam tabung layar. [Trewin, 1988]. Diagram skematik dan cara kerja SEM ditunjukkan oleh Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Diagram skematik cara kerja SEM (Trewin, 1988)

Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display.

Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Elektron – elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah *scintillator* yang memancarkan sebuah pulsa cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh *photomultiplier*. Setelah melalui proses pembesaran sinyal tersebut dikirim ke bagian *grid* tabung sinar katoda. *Scintillator* biasanya memiliki potensial positif sebesar 5 – 10 kV untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan elektron agar



cukup untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menumbuk *scintillator* (Nuha Desi, 2008).

Mesin SEM yang digunakan adalah Inspect S50. Sampel yang digunakan dilengketkan pada *holder* dengan menggunakan selotip karbon *double tape*. Kemudian dimasukkan ke dalam alat pelapis *autofine-coater* JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20) ditunjukkan oleh Gambar 3.17. Lalu, sampel dimasukkan dalam *specimen chamber* pada alat SEM. Perbesaran yang digunakan adalah 100 – 3000 kali.



Gambar 3.17 Proses Pelapisan sampel Menggunakan *Autofine-coater* JFC-1100

3.7 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada Tabel 3.3 Chitosan (A), Pati Singkong(B), Gliserol (C), Selulosa (D) dan Sorbitol (E)



Tabel 3. 2. Rancangan Penelitian

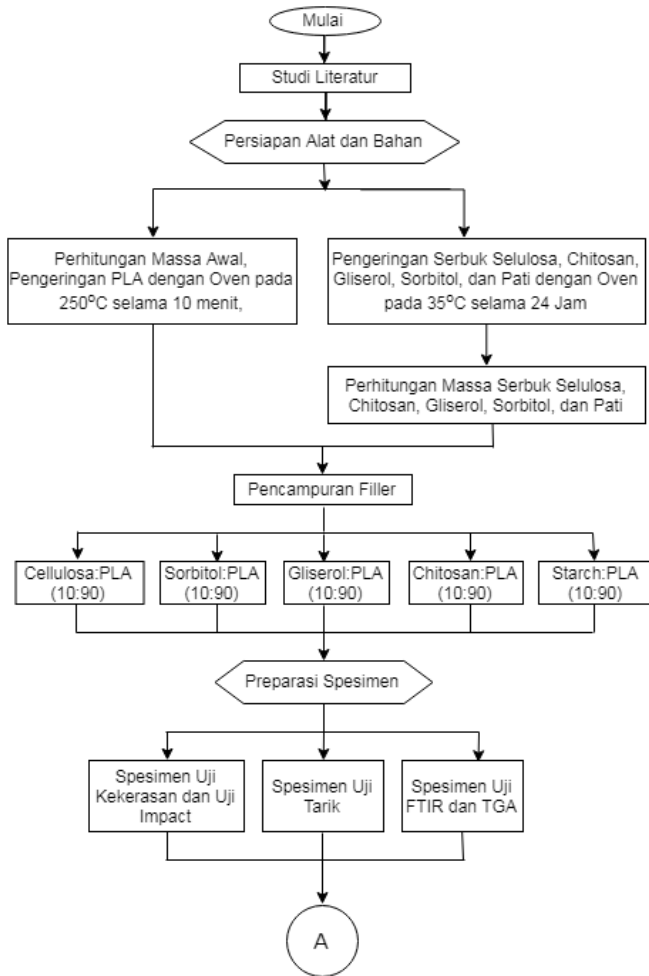
Wt% PLA 90/ Filler %	Hasil Pengujian						
	F T I R	Tensile (Mpa)	Keke rasan (Shor e D)	Imp act	TGA	Biodeg redabili ty	SEM
PLA/ CH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ SOR	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ CL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ ST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ GLY	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

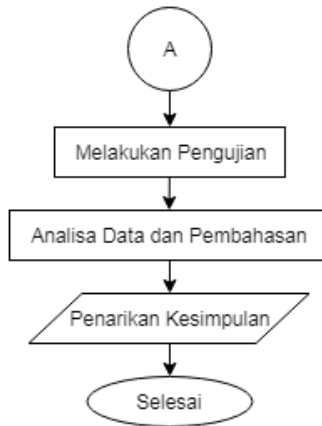


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Bahan Penelitian

Dalam suatu penelitian diperlukan bahan untuk menunjang keberhasilan suatu penelitian tersebut. Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar dibawah ini.

1. Polylactic Acid

Polylactic Acid merupakan bahan utama untuk campuran biobased komposit ini, yaitu berupa pelet pellet bijih plastic yang nantinya akan dimasukkan dan dicampurkan ke dalam extruder. PLA diperoleh dari Amerika Natureworks dalam bentuk *pellet*. seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1 Sertifikat PLA As Received Amerika Natureworks

Sifat	Metode Test	Satuan	Nilai Uji
Density	D1505	g/cc	1.24
Tensile Strength	D882	KPsi	1521
Tensile Modulus	D882	KPsi	500 550



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Elongation at Break	D882		180 100
Melting Point	D3418	°C	155~170
Glass Transition temperature	-	°C	55~60
Elmendorf Tear	D1922	g/mil	1714



Gambar 3.2 Polylactic Acid (PLA).

2. Chitosan

Chitosan merupakan kithin, yang terbuat dari bahan limbah kulit udang. Biasanya lazim ditemukan pada hewan -hewan bersubklas *crustasea*. Chitosan baik digunakan karena mudah terdegradasi dengan lingkungan (Dutta, 2009), ditunjukkan oleh gambar 3.3



Gambar 3.3 Chitosan.



3. Pati Singkong

Pati singkong merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai pengisi matrik PLA yang berbentuk serbuk berwarna putih. Pati gandum yang digunakan diperoleh dari supermarket Super Indo seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Pati Singkong.

4. Selululosa (MCC)

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati. Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan (Anggorodi, 1994). MCC merupakan kristal selulosa berukuran mikro. Partikel selulosa memiliki banyak kegunaan dalam berbagai macam aplikasi, seperti bioteknologi, komposit, adsorben, emulsi dan dispersi, dan biomedis. Ditunjukkan oleh gambar 3.6



Gambar 3.6 Selulosa (MCC)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



5. Sorbitol

Sorbitol dapat diperoleh dari buah pir, apel, ceri, prem, persik, dan aprikot. Selain dari bahan alam, sorbitol juga bisa dibuat secara sintetis, seperti sirup, obat batuk anak, minuman bersoda, jus buah dalam kemasan dan gula jagung. Sorbitol sering di temukan pada proses pembuatan roti dan permen. Ditunjukkan oleh gambar 3.7.



Gambar 3.7 Sorbitol.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Wadah Aluminium
Wadah aluminium digunakan untuk proses pencampuran material.
2. Timbangan Digital
Timbangan digital pocket digunakan untuk menimbang massa bahan campuran.
3. Spatula
Spatula digunakan untuk mengambil material untuk dicampur.
4. Pipet Kaca
Pipet digunakan untuk mengambil larutan kimia dan membantu pengukuran volume larutan yang diambil.
5. Pemanas (*Hot Plate*) dan Pengaduk Magnetik (*magnetic stirrer*)



Hot plate dan *magnetic stirrer* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material milik Departemen Teknik Material ITS

6. Cetakan Kayu
Cetakan Kayu digunakan untuk membuat spesimen pengujian.
7. Oven Listrik
Oven listrik digunakan sebagai alat untuk proses pemansan cetakan.
8. Alat Uji FTIR
Alat uji FTIR yang digunakan milik divisi karakterisasi material di Departemen Teknik Material FTI ITS
9. Alat Uji SEM
Alat uji SEM yang digunakan milik divisi karakterisasi material di Departemen Teknik Material FTI ITS
10. Instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA)
Digunakan untuk mengukur stabilitas termal dari komposit biobased ini.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah komposisi pengisi (chitosan, pati singkong, gliserol, selulosa dan sorbitol) terhadap matriks Komposit PLA dengan presentase *filler*(10%)/PLA.

3.5 Prosedur Penelitian

Untuk menghasilkan hasil penelitian yang sesuai dengan harapan, maka penelitian ini memiliki beberapa tahap percobaan yang akan dilakukan hingga didapatkan hasil berupa *biodegradable* komposit:

1. Mempersiapkan semua alat dan bahan.
2. Pengeringan *filler* (*Chitosan*, pati singkong, gliserol, selulosa dan sorbitol) dengan menggunakan oven selama 24 jam pada temperatur 35 °C.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

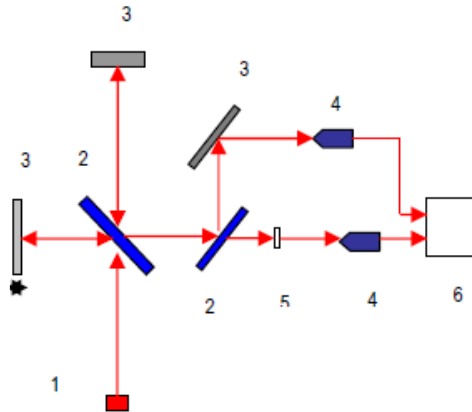


3. Mengukur massa campuran matriks dengan perbandingan komposisi massa (PLA/ Pengisi) 90/10 dengan variasi pengisi *Chitosan*, Pati Singkong, Gliserol, Selulosa dan Sorbitol.
4. Memanaskan dan mencampurkan matriks PLA dengan menggunakan *hotplate* pada temperatur 250 °C. Variasi pengisi dan diaduk menggunakan manual *stirring* selama 5 menit hingga homogen.
5. Menuangkan hasil campuran ke dalam cetakan kayu untuk dijadikan spesimen sesuai pengujian.
6. Spesimen di-*curing* di ruangan pada temperatur kamar 5 jam, tanpa ada pemberian laju pemanasan.
7. Melakukan pengujian mekanik, biodegradasi, dan temperature terhadap spesimen.

3.6 Pengujian

1. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

FTIR merupakan instrument yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya (Anam. 2007). Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak (Chusnul. 2011). Spektrum inframerah dihasilkan dari pen trasmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Marcott (1986) Anam (2007)).



Gambar 3.8 Skema alat spektroskopi FTIR (Anam dkk, 2007)

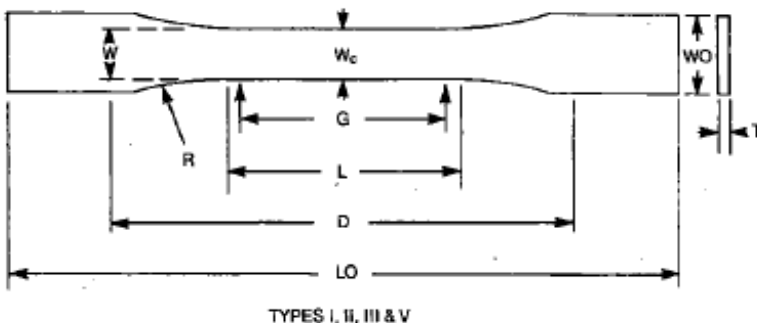
Gambar 3.8 menunjukkan skema alat spektroskopi, angka 1 menunjukkan sumber inframerah yang ditembakkan ke pembagi berkas (beam splitter), lalu inframerah diteruskan ke sampel uji (5), setelah melewati benda uji kemudian melewati sensor inframerah, dan menghasilkan gambar akhir (Anam dkk, 2007).

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa cuplikan kecil dari material yang dibuat. Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sampel diletakkan *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan pada sampel. Pastikan sampel uji memiliki permukaan yang rata dan ketebalan yang sama.



2. Uji Tarik

Uji tarik yang akan dilakukan pada praktikum ini sesuai dengan standar American Society for Testing Materials ASTM D638, dengan bentuk spesimen berukuran 25x250 mm, tebal 2,5mm tipe I. Uji tarik dengan spesimen menggunakan standar ASTM D638 untuk menganalisa perilaku komposit dengan pembebanan hingga kekuatan tarik maksimum dengan dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan penjelasan kriteria dimensi setiap tipe pada Tabel 3.2.



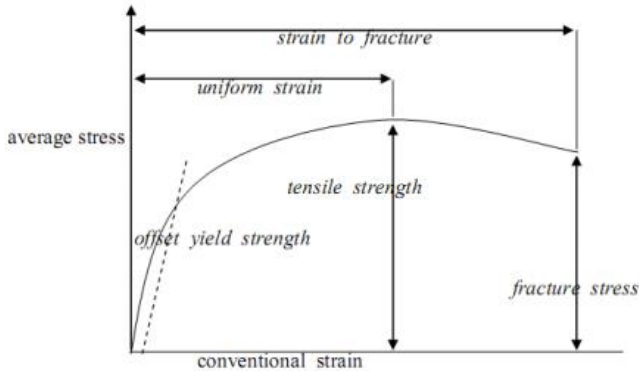
Gambar 3.10 Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638

Tabel 3.2 Kriteria Dimensi Spesimen Uji Tarik ASTM D638

Dimensi	Tipe I (mm)	Tipe II (mm)	Tipe III (mm)	Tipe V (mm)	Toleransi (mm)
W	13	6	19	3.18	± 0.5
L	57	57	57	9.53	± 0.5
WO	19	19	29	9.53	± 6.4
LO	165	183	246	63.5	Min
G	50	50	50	7.62	± 0.25
D	115	135	115	25.4	± 5
R	76	76	76	12.7	± 1
T	≤ 7	≤ 7	14-Jul	≤ 4	-



Hasil pengujian tarik adalah kurva antara ΔF dan Δl . Kemudian akan diubah menjadi kurva engineering stress-strain, seperti Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kurva Tegangan Regangan ASTM D638

Untuk mendapatkan kurva engineering stress-strain dari kurva antara ΔF dan Δl adaah dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.1}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.2}$$

σ = Engineering Stress (N/mm²)

F = Beban yang diberikan (N)

A = Luas penampang (mm²)

ε = Strain (tidak bersatuan, dinyatakan dalam persentase)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L = Panjang setelah pembebanan (mm)

3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar pengujian ASTM D2240 dengan ketebalan spesimen minimal 6 mm, dengan menggunakan alat durometer pada gambar 3.12. Uji kekerasan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



durometer yang dilakukan pada spesimen penelitian ini dilakukan dengan skala Shore-D. Bentuk indenter yang digunakan dalam uji kekerasan ini sesuai dengan ASTM D2240 ditunjukkan oleh gambar 3.11.

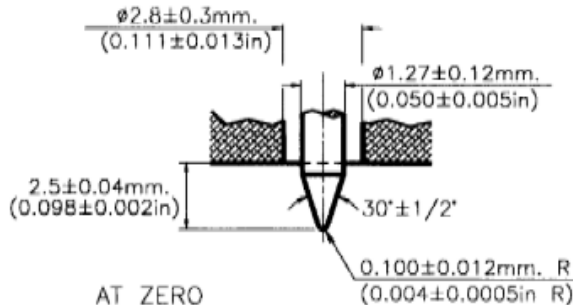
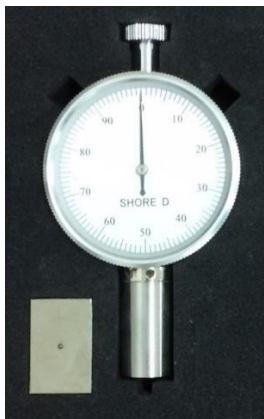


FIG. 1 (b) Type B and D Indenter (continued)

Gambar 3.11. Indenter Untuk Uji Kekerasan Durometer Shore-D (ASTM D2240)



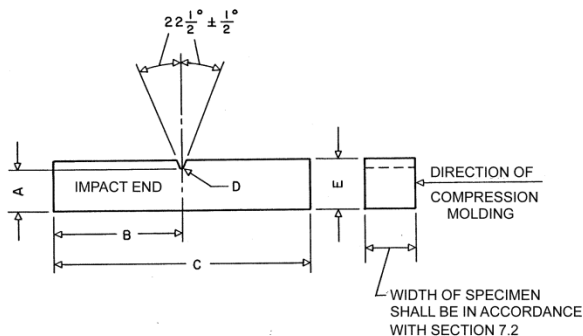
Gambar 3.12 Alat Durometer Shore D



4. Pengujian Impact

Pengujian impak dilakukan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kemampuan dari material komposit PLA terhadap serangan impak.

Pengujian Impact dilakukan dengan spesimen standar sesuai dengan ASTM D256 dengan ukuran spesimen 63,5 x (3-12,7) mm, ketebalan 12,7 mm, dan notch dengan kedalaman 2,54 mm dan kemiringan $22,5^\circ$ berada pada 31,8 mm dari tepi spesimen, spesifikasi spesimen tersebut seperti yang di gambarkan oleh gambar 3.14. Pengujian impact dilakukan dengan metode *charpy*. Alat yang digunakan bermerek Wolfrund dengan beban impak maksimum 150 J seperti pada Gambar 3.14.



Gambar 3.13. Ukuran Spesimen Uji Impact (ASTM D256)



Gambar 3.14 Mesin Uji Impak *Charpy*

5. Pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA).

Pengujian dilakukan untuk mengetahui stabilitas termal dari hasil campuran komposit biobased. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur tinggi. Alat TGA pada Gambar 3.15 dilengkapi dengan timbangan mikro di dalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan dengan menempatkan sampel di atas meja putar yang ada di dalam mesin. Selanjutnya dilakukan pengisian data berat awal untuk masing – masing sampel ke dalam sistem komputer di mana berat maksimal 20 mg. Kondisi dalam mesin dialiri udara kering dari tabung gas dengan kecepatan pengaliran tertentu. Program pengoperasian mesin berupa kecepatan pemanasan, jarak temperatur, dan pendinginan dilakukan dengan melalui pemasukan data ke komputer. Analisa dilakukan dengan menaikkan temperatur secara bertahap dan analisa berat terhadap temperatur, sehingga didapatkan kurva hasil pengujian berupa fungsi temperatur terhadap berat sampel.



Gambar 3.15. Instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA).

6. Uji Biodegradasi

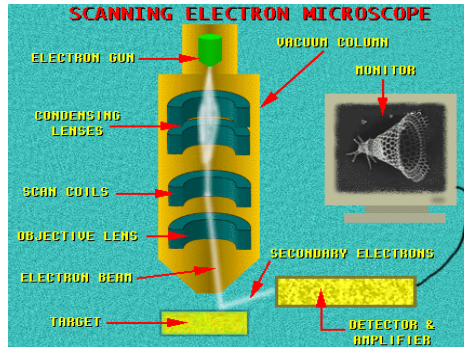
Pengujian biodegradabilitas digunakan untuk mengetahui kemampuan terdegradasi secara alami pada suatu material. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metoda pengomposan tanpa tambahan bakteri atau mikroorganisme. Proses pengomposan dilakukan dengan menanam spesimen uji pada area tanah selama 5 minggu dengan pengecekan massa dan volume setiap satu minggu.

7. Uji Morfologi *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Metoda SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari suatu material berdasarkan standar ASTM E986. SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan pembesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran $< \sim 10\text{nm}$ pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

film fotografi atau ke dalam tabung layar. [Trewin, 1988]. Diagram skematik dan cara kerja SEM ditunjukkan oleh Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Diagram skematik cara kerja SEM (Trewin, 1988)

Cara kerja SEM adalah dengan menembakkan elektron dari *electron gun* lalu melewati *condensing lenses* dan pancaran elektron akan diperkuat dengan sebuah kumparan, setelah itu elektron akan difokuskan ke sampel oleh lensa objektif yang ada dibagian bawah. Pantulan elektron yang mengenai permukaan sampel akan ditangkap oleh *backscattered electron detector* dan *secondary electron detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display.

Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Elektron – elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah *scintillator* yang memancarkan sebuah pulsa cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh *photomultiplier*. Setelah melalui proses pembesaran sinyal tersebut dikirim ke bagian *grid* tabung sinar katoda. *Scintillator* biasanya memiliki potensial positif sebesar 5 – 10 kV untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan elektron agar



cukup untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menumbuk *scintillator* (Nuha Desi, 2008).

Mesin SEM yang digunakan adalah Inspect S50. Sampel yang digunakan dilengketkan pada *holder* dengan menggunakan selotip karbon *double tape*. Kemudian dimasukkan ke dalam alat pelapis *autofine-coater* JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20) ditunjukkan oleh Gambar 3.17. Lalu, sampel dimasukkan dalam *specimen chamber* pada alat SEM. Perbesaran yang digunakan adalah 100 – 3000 kali.



Gambar 3.17 Proses Pelapisan sampel Menggunakan *Autofine-coater* JFC-1100

3.7 Rancangan Penelitian

Untuk memperoleh data yang sistematis, maka dari penelitian ini akan dibuat rancangan penelitian dan rancangan jadwal penelitian seperti pada Tabel 3.3 Chitosan (A), Pati Singkong(B), Gliserol (C), Selulosa (D) dan Sorbitol (E)



Tabel 3. 2. Rancangan Penelitian

Wt% PLA 90/ Filler %	Hasil Pengujian						
	F T I R	Tensile (Mpa)	Keke rasan (Shor e D)	Imp act	TGA	Biodeg redabili ty	SEM
PLA/ CH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ SOR	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ CL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ ST	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA/ GLY	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PLA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan rekayasa komposit poly(lactid acid) berbasis bio dengan campuran material yang berasal dari alam. Material yang digunakan sebagai campuran, yaitu *chitosan*, pati singkong, gliserol, selulosa, dan sorbitol. Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan *pellet* PLA dan masing-masing material campuran. Penelitian ini menghasilkan campuran berupa komposit *blend* yaitu *chitosan*(10%)/poly(lactid acid), pati singkong(10%)/poly(lactid acid), gliserol(10%)/poly(lactid acid), selulosa(10%)/poly(lactid acid), dan sorbitol(10%)/poly(lactid acid). Komposit *blend* yang dihasilkan kemudian dilakukan analisa untuk diketahui sifat mekaniknya.

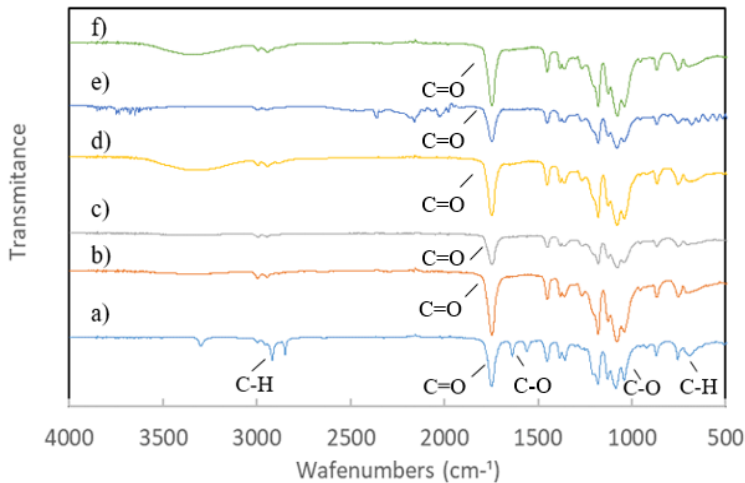
4.1 Pengaruh *Filler Biodegradable Material* terhadap Struktur Ikatan Poly(lactid Acid) dengan Analisa FTIR.

Analisa FTIR bertujuan untuk mengamati gugus fungsi dan ikatan kimia yang terbentuk dari *biodegradabel* PLA. Analisa FTIR dilakukan terhadap masing-masing spesimen *biodegradabel* PLA dengan mengamati gugus fungsi serta ikatan kimia yang muncul.

Gambar 4.1 menunjukkan daerah puncak serapan sinar inframerah dari *biodegradabel* PLA. Daerah serapan sinar inframerah dengan garis spektrum a) merupakan daerah serapan material PLA murni. Dari analisis FTIR yang dilakukan, diperoleh informasi bahwa material yang digunakan memiliki beberapa puncak serapan yang digambarkan oleh peregangan gugus O-H dengan puncak gelombang 3299 cm^{-1} (Frone, 2011). Pada puncak serapan 2848 cm^{-1} dan 2916 cm^{-1} digambarkan oleh gugus C-H (Frone, 2011 dan Yuniarto, 2016). Pada serapan gelombang 1746.96 cm^{-1} , terdapat peregangan gugus ganda C=O (Chiang, 2013). Peak pada serapan 1451 cm^{-1} menunjukkan $-\text{CH}_3$ *bending*, juga peak pada 1357 cm^{-1} dan 1382 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-H (Qu, 2013). Kemudian serapan pada 1041 cm^{-1} , 1085



cm^{-1} dan 1185 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan C-O (Chieng, 2013). Serapan pada wavenumber 755 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-C (Shameli, 2012).



Gambar 4.1 Spektrum FTIR *Biodegradabel Poly(lactic Acid)*
(a) PLA , (b) CH(10%)/PLA, (c) ST(10%)/ PLA,(d)
GLY(10%)/ PLA,(e) MCC(10%)/PLA,dan (f) SOR(10%)/ PLA

Menurut Peng, jika dua polimer kompatibel, maka terdapat interaksi kimia yang berbeda pada grafik spektrum IR untuk blend polimer. Contohnya terdapat interaksi berupa ikatan hidrogen atau dipolar ada di antara rantai satu polimer dan polimer lainnya, atau mengalami perubahan bentuk grafik misalnya *band* bergeser atau memperluas (Peng, 2005).

Dapat di lihat bahwa hilangnya peak wavenumber pada PLA murni pada serapan 1636 cm^{-1} dari ikatan C=C alkena dikarenakan adanya oksigen yang memutus rantai ganda dari kedua C tersebut, sehingga menyebabkan peningkatan peak wavenumber yang menunjukkan ikatan pada C=O gugus ester dan C-O gugus alkohol.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Sedangkan pada serapan 3299 cm^{-1} terjadi pemutusan gugus O-H yang menjadi ujung dari rantai polymer PLA dan mampu berikatan dengan gugus yang berada pada senyawa tambahan (Xu, 2009).

Tabel 4.1 Analisa Gugus Fungsi PLA

Wavenumber Cm^{-1}	Ikatan	Gugus
688	C=C	Alkene
755	C-H	Alkane
870	C-H	Alkane
922	C=C	Alkene
1042	OC-O-CO	Anhydride
1085	C-OH	Aromatic Ester
1129	C-O	Alcohol
1181	C-O	Alcohol
1357	O-H	Alcohol
1383	O-H	Alcohol
1451	C-H	Alkane
1636	C=C	Alkane
1747	C=O	Ester
2849	C-H	Alkane
2917	C-H	Alkane
2992	C-H	Alkane
3299	O-H	Carboxyl Acid

Tabel 4.1 merupakan hasil analisa peak hasil FTIR dari PLA. Data ini sesuai dengan Liu pada 2017 bahwa puncak dari karakteristik PLA yang diamati yaitu pada 2992 cm^{-1} sebagai (-CH *asymmetric*), 1759 cm^{-1} (-CO), 1454 cm^{-1} (-CH di -CH₃), 1373 cm^{-1} (-CH₃), 1185 dan 1089 cm^{-1} (-C-O), dan 870 cm^{-1} (-C-C) (Lagaron, 2007).

Dalam *chitosan*, karakteristik *absorbsion bands* diamati pada 2977 cm^{-1} (C-H), bersama dengan puncak luas antara 3400^{-1} dan 3700 cm^{-1} yang sesuai dengan O-H.



Tabel 4.2 *Chitosan(10%)/PLA*

Wavenumber Cm^{-1}	Ikatan	Gugus
704	C-H	Alkene
754	C-H	Alkane
867	C-H	Alkane
955	C-H	Alkene
1041	CO-O-CO	Anhydride
1078	C-O	Alcohol
1126	C-O	Alcohol
1180	C-O	Ester
1266	C-O	Ester
1358	O-H	O-H
1451	C-H bending in CH_3	Alkene
1746	C=O	Ester
2944	O-H	Alcohol
2994	C-H Asymmetric	Alakane

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.1 ketinggian relatif dari puncak pada 1759 cm^{-1} , yang ditugaskan untuk gugus karbonil di PLA, meningkat dengan konsentrasi PLA dalam campuran PLA/*chitosan*, sementara ketinggian relatif dari puncak antara 3400 dan 3700 cm^{-1} yang mewakili O-H dalam *chitosan*, menurun. Namun, posisi puncak hanya mengalami pergeseran yang relatif kecil, menunjukkan bahwa interaksi molekul antara polimer umumnya lemah, hal ini dikarenakan PLA tidak memiliki cukup kelompok -OH untuk membentuk ikatan hidrogen dengan kelompok -OH dalam *chitosan* (Xu, 2009). Menunjukkan ester baru pada 1180 cm^{-1} , antara rantai PLA terhidrolisis dan terprotonasi.

Pada Gambar 4.1, dijelaskan perbandingan grafik spektrum IR antara PLA dan Strach(10%)/ PLA. Angka 3 dan 4 menunjukkan spektrum FTIR Strach(10%)/ PLA menyatu di daerah peregangan tertentu. Peak dari wavenumber kurva menunjukkan ikatan hidrogen dari Strach(10%)/ PLA menyatu di beberapa bagian yang sesuai

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



dengan karakteristik pati/starch (peregangan ikatan C-O dari gugus -C-O-H pada sekitar 1,156 dan 1,083 cm^{-1} dan C - O peregangan ikatan -C-O-C kelompok dalam cincin *anhydride* sekitar 990 dan 1,020 cm^{-1} bergeser ke bilangan gelombang yang lebih rendah) (Ning, 2008).

Tabel 4.3 Analisa Gugus Fungsi Starch

Wavenumber Cm^{-1}	Ikatan	Gugus
869	C-H	Alkane
996	C=C	Alkene
1078	C-OH	Aromatic Ester
1179	C-O	Alcohol
1335	C-O	Phenol
1746	C=O	Ester
2926	C-H	Alkane
3268	O-H	Carboxyl Acid

Tabel 4.4 Analisa Gugus Fungsi Strach(10%)/ PLA

Wavenumber Cm^{-1}	Ikatan	Gugus
701	C-H	Alkana
754	C-H	Alkana
867	C-H	Alkana
1078	C-O	Alcohol
1179	C-O	Alcohol
1358	O-H	Alcohol
1450	C-H	Alkane
1746	C=O	Ester
2944	O-H	Alcohol
2994	O-H	Carboxylic Acid

Tabel 4.5 Analisa Gugus Fungsi Gliserol(10%)/ PLA

Wavenumber Cm^{-1}	Ikatan	Gugus
754	C-H	Alkana



867	C-H	Alkana
1040	CO-O-CO	Anhydride
1078	C-O	Alcohol
1179	C-O	Alcohol
1381	O-H	Alcohol
1451	C-H	Alkane
1746	C=O	Ester
2944	O-H	Alcohol
2994	O-H	Carboxylic Acid

Sama halnya pati singkong(10%)/ PLA, peak dari *wavenumber* kurva menunjukkan ikatan hidrogen dari gliserol(10%)/ PLA menyatu di beberapa bagian yang sesuai dengan karakteristik gliserol. (peregangan ikatan C-O dari gugus -C-O-H pada sekitar $1,156^{-1}$ dan $1,083 \text{ cm}^{-1}$ dan C - O peregangan ikatan -C-O-C kelompok dalam cincin *anhydride* sekitar 990 dan $1,040 \text{ cm}^{-1}$. Namun dapat dilihat jika *peak* ester 1746cm^{-1} dan *anhydride* 1040cm^{-1} semakin meninggi dan melebar. Hasil ini menunjukkan bahwa adhesi antarmuka yang lebih kuat dicapai sebagai hasil dari formasi PLA-g-Gliserol dengan meningkatnya kandungan *maleic anhydride* pada PLA (Valerio, 2017).

Tabel 4.6 Analisa Gugus Fungsi Selulosa(10%)/PLA

Wavenumber Cm^{-1}	Ikatan	Gugus
867	C-H	Alkane
1080	C-O	Alcohol
1179	C-O	Alcohol
1359	O-H	Alcohol
1451	C-H	Alkane
1746	C=O	Ester
2024	C-H	Aromatic
2360	O=C=O	Carbon Dioxide
2944	O-H	Alcohol
2995	O-H	Carboxylic Acid



Menurut Borkotoky tahun 2017, karakteristik puncak FTIR diamati pada 866 cm^{-1} , 1073 cm^{-1} , 1454 cm^{-1} , 1742 cm^{-1} dan 2926 cm^{-1} sesuai dengan ikatan $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ -, vibrasi asimetrik -CH_3 , vibrasi bending -CH , vibrasi C=O dan vibrasi simetrik -CH_3 masing-masing PLA. Untuk kasus selulosa, puncak pada 2908 cm^{-1} mewakili pita -CH , puncak pada 1163 cm^{-1} mewakili C-O-C yang membentang di linkage glikosidik $\beta\text{-1,4-D}$ hadir dalam selulosa dan puncak pada 1427 cm^{-1} mewakili puncak simetris- CH_2 bending. Puncak yang menonjol dari 908 cm^{-1} menunjukkan vibrasi -C-O dan 3556 cm^{-1} untuk vibrasi -OH stretching tidak ada dalam sampel lain. Puncak yang luas pada sekitar 3500 cm^{-1} dalam semua sampel PLC/CNC mewakili gugus fungsi -OH . Puncak ini menunjukkan pembentukan ikatan hidrogen intra-molekul yang kuat atau intermolekuler dengan matriks PLA. Kehadiran puncak dekat 1746 cm^{-1} pada semua polimer blend menunjukkan adanya gugus -C=O bebas.

Tabel 4.7 Analisa Gugus Fungsi Selulosa(10%)/ PLA

Wavenumber Cm^{-1}	Ikatan	Gugus
754	C-H	Alkana
866	C-H	Alkana
955	C=C	Alkene
1077	C-O	Alcohol
1180	C-O	Alcohol
1358	O-H	Alcohol
1451	C-H	Alkane
1746	C=O	Ester
2943	O-H	Alcohol
2993	O-H	Carboxylic Acid

Sorbitol dan gliserol merupakan zat *plasticizers* sehingga dapat dilihat pada gambar 4.1 menunjukkan kemiripan pola kurva ftir antara gliserol(10%)/PLA dan Sorbitol(10%)/PLA menyatu di beberapa bagian yang sesuai dengan karakteristik gliserol. (peregangan ikatan C-O dari gugus -C-O-H pada sekitar $1,156$ dan

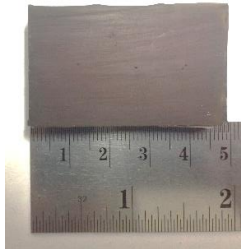
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



1,083 cm^{-1} dan C - O peregangan ikatan -C-O-C kelompok dalam cincin *anhydride* sekitar 990 dan 1,040 cm^{-1} . Namun dapat dilihat jika peak ester 1746 cm^{-1} dan *anhydride* 1040 cm^{-1} semakin meninggi dan melebar. Hasil ini menunjukkan bahwa adhesi antarmuka yang lebih kuat dicapai sebagai hasil dari formasi PLA-g-Sorbitol dengan meningkatnya kandungan maleic *anhydride* pada PLA.

4.2 Pengaruh *Filler Biodegradabel* Material terhadap Sifat Kekerasan Komposit Poly(lactic Acid).

Pengujian kekerasan material *biodegradable* komposit PLA dilakukan dengan menggunakan alat durometer shore D dengan standard pengujian ASTM D2240 dengan indenter baja berbentuk tabung silinder. Pengujian dilakukan pada 3 titik indentasi pada setiap spesimen, kemudian diambil nilai rata – rata dari hasil indentasi tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh *filler biodegradabel* material terhadap sifat kekerasan PLA. Gambar 4.2 menunjukkan dimensi spesimen yang digunakan dalam pengujian kekerasan.



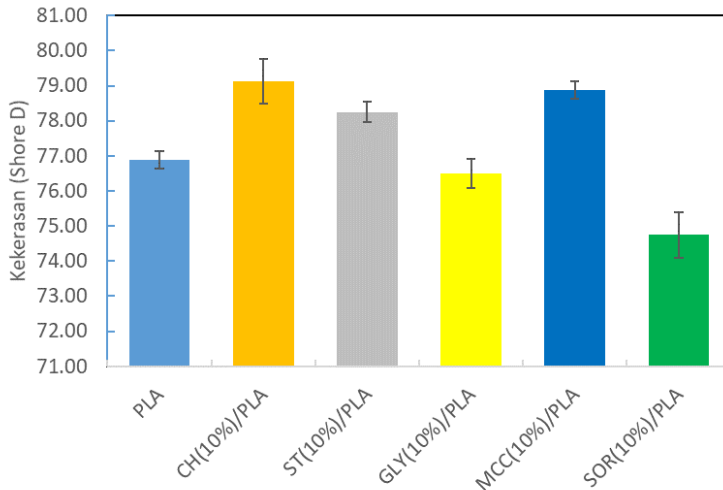
Gambar 4.2 Dimensi Spesimen Pengujian Kekerasan *Biodegradabel* Poly(lactic Acid).

Hasil pengujian kekerasan *biodegradabel* PLA ditunjukkan pada Gambar 4.3. Material PLA murni yang memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 76.88 HD. Kemudian, *biodegradabel* PLA berpengisi *chitosan* memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar



79.13 HD. *Biodegradabel* PLA berpengisi pati singkong memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 78.25 HD. Kemudian, *biodegradabel* PLA berpengisi gliserol memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 76.50 HD. *Biodegradabel* PLA berpengisi selulosa memiliki nilai kekerasan sebesar 78.88 HD. Kemudian, *biodegradabel* PLA berpengisi sorbitol memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 74.75 HD.

Berdasarkan pengujian kekerasan yang telah dilakukan, material *biodegradabel chitosan*, pati singkong dan selulosa memiliki kemampuan meningkatkan sifat kekerasan poly(lactid acid). Sedangkan *biodegradabel* gliserol dan sorbitol memiliki pengaruh turunya nilai kekerasan dari poly(lactid acid). Sifat kekerasan *biodegradabel* PLA tertinggi yaitu *biodegradabel* PLA berpengisi *chitosan* dengan nilai kekerasan 79.13 HD. Diketahui bahwa kekerasan dan modulus tergantung pada strukturnya (Tanase, 2014). Hasil tersebut sesuai, dikarenakan besarnya nilai kekuatan tekan dipengaruhi oleh interaksi antarmuka antara matriks dan *filler*. Penurunan kekuatan tekan akibat peningkatan jumlah *filler*, kemungkinan diakibatkan adanya *filler* yang tidak berinteraksi dengan matriks. (Dewi, 2009). *Cured* PLA memiliki nilai kekerasan pada temperature kamar dengan rentang 80 HD (Clarizio, 2012).



Gambar 4.3 Pengaruh Pengisi *Biodegradabel* terhadap Kekerasan Poly(lactid Acid).

4.3 Pengaruh *Biodegradabel* Material terhadap Sifat Kekuatan Tarik Maksimum Komposit Poly(lactid Acid).

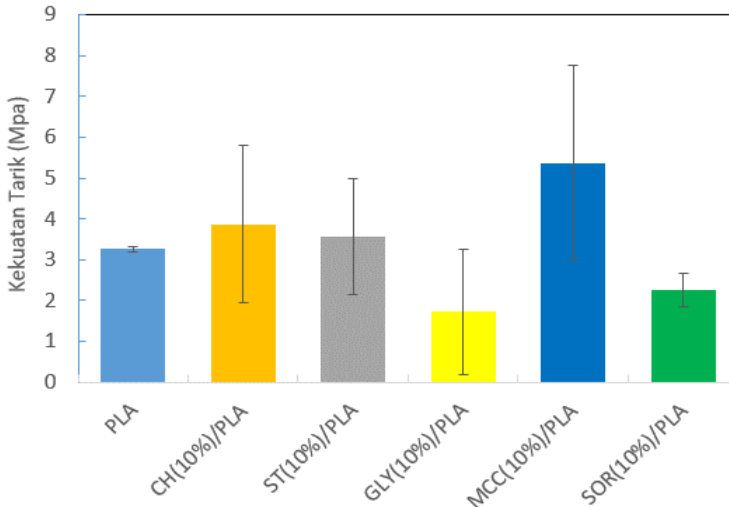
Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh *biodegradabel* material terhadap sifat kekuatan tarik poly(lactid acid). Pengujian kekuatan tarik *biodegradabel* komposit PLA dilakukan menggunakan mesin uji tarik dengan standard pengujian ASTM D 638 tipe I. Dimensi sampel yang diujikan memiliki ketebalan rata-rata 6 mm, lebar rata-rata *gage area* 13 mm, dan panjang total sampel rata-rata 165 mm. Pengujian dilakukan terhadap 3 sampel setiap variabel dengan mencari rata-rata nilai kekuatan tarik maksimum sebagai nilai kekuatan tarik sebuah variabel (F.C Campbell, 2010). Gambar 4.4 menunjukkan dimensi pengujian kekuatan tarik variasi komposisi *biodegradabel* PLA.



Gambar 4.4 Dimensi Spesimen Pengujian Kekuatan Tarik Variasi Komposisi *Biodegradabel* PLA.

Hasil pengujian kekuatan tarik ditunjukkan pada Gambar 4.5. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, *neat* PLA dengan grafik batang berwarna biru muda memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 3.26 Mpa. Kemudian *biodegradabel* PLA berpengisi 10% *chitosan* memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 3.87 Mpa. *Biodegradabel* PLA berpengisi 10% pati singkong memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 3.57 Mpa. Kemudian *biodegradabel* PLA berpengisi 10% gliserol memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 1.75 Mpa. *Biodegradabel* PLA berpengisi 10% selulosa yang ditunjukkan grafik memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 5.37 Mpa. Kemudian *biodegradabel* PLA berpengisi 10% memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 2.27 Mpa.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, *biodegradabel* PLA berpengisi pati singkong dan selulosa memiliki kemampuan untuk meningkatkan sifat kekuatan tarik PLA.



Gambar 4.5 Pengaruh *Filler Biodegradabel* terhadap Kekuatan Tarik Poly(lactic Acid).

Hal ini sesuai dengan perkiraan bahwa selulosa akan menambah kekakuan sesuai fungsinya sebagai *filler*, seperti pada biokomposit pada umumnya (Haafiz, 2013). Homogenisasi ukuran *filler* menjadi faktor yang penting dalam peningkatan kekuatan mekanik (Seisini, 2012). Kekuatan tarik meningkat dengan semakin banyaknya jumlah selulosa dalam komposit, hal ini dikarenakan jumlah selulosa sebagai fasa *reinforce*. Dengan meningkatnya massa selulosa maka efek penguatannya bertambah (Li, 2011), dengan semakin banyaknya partikel selulosa maka surface areanya juga semakin besar sehingga memungkinkan terjadinya adhesi yang lebih baik pada *interface* (Halasz, 2012).

Juga terjadi peningkatan pada campuran PLA dan *Chitosan*. *Chitosan* dapat meningkatkan nilai kuat tarik dikarenakan terbentuknya ikatan *hydrogen* antar rantai sehingga *edible film* menjadi lebih rapat (Setiani, 2013).

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



4.4 Pengaruh *Filler Biodegradable* Material terhadap Kekuatan *Impact* Komposit Poly (lactid Acid).

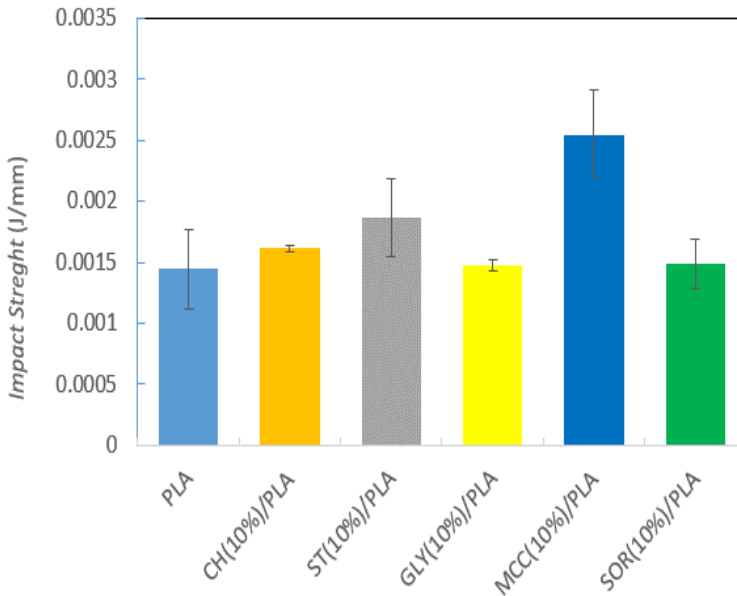
Analisa nilai kekuatan *impact* dilakukan untuk mengetahui nilai beban kejut yang dapat diterima oleh sebuah material. Jenis pengujian metode *Charpy* ini merupakan pengujian *Low Velocity Impact* dimana nilai kecepatan tumbukan termasuk pada kategori rendah. Standar yang digunakan pada pengujian impak komposit *biodegradable* PLA ini adalah ASTM D2265. Pada gambar 4.6 terlihat jika nilai *impact strength* mengalami fluktuasi dengan nilai optimum pada penambahan selulosa 10% dengan nilai *Impact Strength* 1.39 J. Nilai kekuatan impak cenderung berkebalikan dengan nilai kekuatan tarik, sehingga jika dilihat dari kekuatan tarik pada komposit dengan penambahan *filler* pati singkong 10% memiliki nilai yang rendah, maka nilai kekuatan impak nya akan menjadi lebih tinggi.

Menurut Sultania (2009), nilai impak yang tinggi ini disebabkan oleh adanya komponen yang tidak membentuk *cross-link*, dalam hal ini adalah *plastisizer*, yang menyebabkan fleksibilitasnya meningkat. Nilai impak yang tinggi juga disebabkan adanya serat yang membantu menyalurkan energi impak, sehingga nilai *impact strength* yang diperoleh dari komposit serat lebih tinggi dari pada sistem matriksnya itu sendiri. Selain itu dipengaruhi oleh fraksi volume *reinforce*, dispersi di dalam *matrix*, dan interaksi antara *reinforce* dengan *matrix* (Fortunati, 2012),

Sorbitol dan Gliserol berfungsi sebagai *plastisizer*, dapat berinteraksi dengan membentuk ikatan hydrogen dalam rantai ikatan antar polimer sehingga menyebabkan interaksi antara molekul biopolimer semakin berkurang. Hal ini menyebabkan turunnya kuat tarik dan meningkatnya elastisitas (Purwati Ani, 2017). Dengan komposisi yang sama, bioplastik dengan pemlastis sorbitol memiliki nilai kuat Tarik yang lebih tinggi dan elongasi yang lebih rendah dibandingkan *bioplastic* dengan pemlastis gliserol. Gliserol memiliki bobot molekul yang lebih rendah,



sehingga lebih mudah memasuki rongga rongga pati dan memperbesar nilai perpanjangan (Dania Karina ,2014).



Gambar 4.6 Pengaruh *Filler Biodegradabel* terhadap *Impact Strenght* Poly(lactid Acid).

4.5 Pengaruh *Biodegradabel* Material terhadap Kesetabilan Thermal Poly(lactid Acid)

Stabilitas termal diketahui melalui perhitungan degradasi massa terhadap kenaikan temperatur menggunakan instrumen *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Hasil dari TGA dapat digunakan untuk menyatakan batas temperatur kerja dari material sebelum mengalami degradasi. Temperatur pemanasan yang digunakan 25°C – 550 °C dengan laju pemanasan 10° C/menit. Untuk tujuan komparasi, kurva dari *neat* PLA dimasukan kedalam

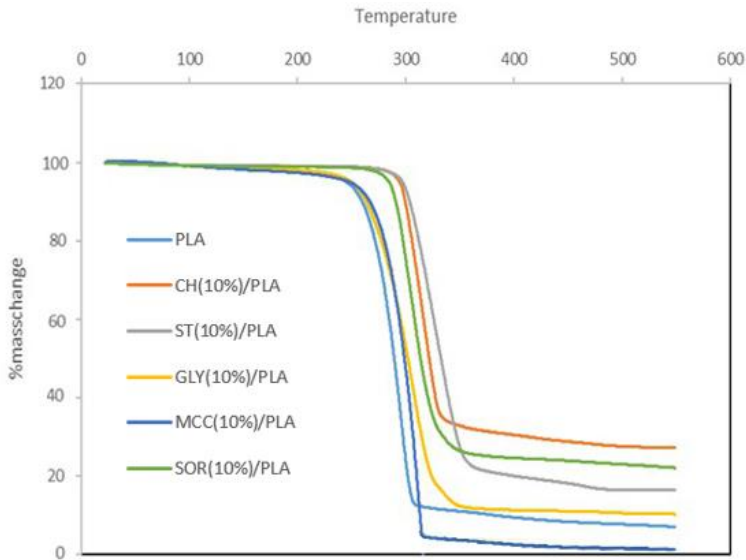
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



diagram. Karakteristik dari parameter temperatur dipilih pada temperatur *onset*, dimana terjadi inisiasi pengurangan massa dan temperatur maksimum degradasi (T_{max}) yang merupakan temperatur tertinggi dari pengurangan massa (G.Silverajah, 2012).

Gambar 4.7 menunjukkan kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi komposisi *biodegradabel* PLA. Kurva *thermogravimetric analysis* (TGA) dari variasi komposisi *biodegradabel* PLA menunjukkan penurunan presentase massa terhadap kenaikan temperatur. T_5 didapatkan dari penurunan presentase massa tepat saat massa dari *biodegradable* PLA berkurang 5% atau bersisa 95%. T_5 menunjukkan awal terjadinya dekomposisi suatu material polimer.

Gambar 4.7 menunjukkan titik T_5 dari variasi komposisi *biodegradabel* PLA. Poly(lactid acid) murni mengalami penurunan massa 5% atau titik T_5 pada temperatur 241,7 °C. *Biodegradabel* PLA/*chitosan* mengalami penurunan massa 5% atau titik T_5 pada temperatur 282,10°C. *biodegradabel* PLA pati singkong mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur 277,89°C. *biodegradabel* PLA gliserol mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur 249,54°C. *Biodegradabel* PLA selulosa mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur 242,681°C. *Biodegradabel* PLA berpengisi sorbitol mengalami penurunan massa 5% atau T_5 pada temperatur 359,763°C.



Gambar 4.7 Kurva *Thermogravimetric Analysis* (TGA) dari Variasi Komposisi *Biodegradabel* PLA. (a) PLA, (b) CH(10%)/PLA, (c) ST(10%)/PLA, (d) GLY(10%)/PLA, (e) MCC(10%)/PLA dan (f) SOR(10%)/PLA

Tabel 4.8 Pengaruh *Filler Biodegradabel* Terhadap Temperatur Dekomposisi T₅ dari Komposit Poly(lactid acid)

Material	T ₅ (°C)
PLA	241,7
CH(10%)/ PLA	282,10
ST(10%)/ PLA	277,89
GLY(10%) PLA	249,54
MCC(10%)/ PLA	242,681
SOR(10%)/ PLA	359,763

Tabel 4.8 menunjukkan variasi T₅ dari variasi komposisi *biodegradabel* PLA. Variasi komposisi gliserol dan sorbitol meningkatkan kesetabilan temperatur dari *biodegradabel* PLA.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Semakin banyaknya ikatan OH, seiring dengan meningkatnya temperature pemanasan. Sehingga meningkatkan kesetabilan, karena tidak terjadi pemutusan ikatan pada molekul. *Biodegradabel* PLA sorbitol memiliki kesetabilan temperatur tertinggi dengan T_5 359,763 °C.

Tahap pertama terjadinya dekomposisi terjadi pada temperatur berkisar 200-240°C yang merupakan fenomena penguapan dan dekomposisi dari senyawa yang tidak berikatan. Kemudian tahap kedua dekomposisi terjadi pada temperatur 240-270°C dengan degradasi yang cepat dan merupakan fenomena degradasi dari struktur *crosslink* polimer. Kemudian diatas temperature 450°C merupakan tahap terakhir dekomposisi atau dapat disebut juga degradasi material residu (Chengguo Liu et al, 2014)

4.6 Pengaruh Laju Degradasi Material terhadap Komposit *Biodegradabel* Poly(lactid Acid).

Analisa biodegradasi dilakukan untuk mengamati kecepatan degradasi material komposit PLA berbasis bio pada kondisi lingkungan alami. Analisa biodegradasi dilakukan menggunakan metode pengomposan didalam tanah humus dan didalam air sungai dengan kondisi alami. Pengujian degradabilitas metode pengomposan dilakukan dengan mengubur spesimen didalam tanah kedalaman 15 cm dengan rentang waktu 6 minggu. Pengurangan massa digunakan sebagai representasi degradasi yang terjadi terhadap spesimen *biodegradabel* PLA. Sedangkan untuk pengujian degradabilitas metode perendaman dilakukan dengan merendam spesimen ke dalam air sungai dengan rentang waktu 6 minggu. Pengurangan massa digunakan sebagai representasi degradasi yang terjadi terhadap spesimen *biodegradabel* PLA.

Tabel 4.9 menunjukkan degradasi massa dari variasi *biodegradabel* PLA. PLA murni mengalami degradasi masa pada tanah humus sebesar 4,7% dan dalam air sungai sebesar 94,2 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. *Biodegradabel* PLA *chitosan* mengalami degradasi massa tanah humus sebesar 2,8%



dan dalam air sungai sebesar 92 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. *Biodegradabel* PLA pati singkong mengalami degradasi massa tanah humus sebesar 3,12% dan dalam air sungai sebesar 93 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. *Biodegradabel* PLA gliserol mengalami degradasi massa tanah humus sebesar 5,83% dan dalam air sungai sebesar 96 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. *Biodegradabel* PLA selulosa mengalami degradasi tanah humus sebesar 3,16% dan dalam air sungai sebesar 93,4 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi. *Biodegradabel* PLA sorbitol mengalami degradasi tanah humus sebesar 5,89% dan dalam air sungai sebesar 96,2 % selama 6 minggu pengujian biodegradasi.

Tabel 4.9 Pengaruh *Filler Biodegradabel* terhadap Persentase Degradasi Komposit Poly(lactid Acid).

Material	Massa Awal (gr)	Massa Awal Tanah Humus (gr)	Massa Akhir Tanah Humus (gr)	Massa Akhir Air (gr)	Degradasi Humus (%)	Degradasi Air (%)
PLA	7.22	7.22	6.88	0.256	4,70	94.2
CH(10%)/PLA	7.16	6.78	6.59	0.063	2.8	92
ST(10%) PLA	6.87	6.60	6.39	0.09	3.12	93
GLY(10 %)/PLA	7.08	7.22	6.80	0.092	5.83	96
MCC(10 %)/PLA	6.80	6.56	6.35	0.09	3.16	93.4
SOR(10%)PLA	6.25	6.375	6.01	0.098	5.89	96.2

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Semakin banyak ditambahkan *filler* (Dalam hal ini *chitosan*) ke matriks *bioplastic*, tingkat kerusakan bio plastik semakin rendah dan terdegradasi lebih lama (Hartatik Dwi, ND). Kandungan granula pati memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan *Biodegradabel* dari PLA. Senyawa amilopektin yang memiliki struktur bercabang cenderung tidak sekuat dan sefleksibel amilosa (Winarno, 1992).

Chitosan tidak memiliki cukup kelompok OH untuk membentuk ikatan *hydrogen* dengan kelompok OH dan NH₂ dalam *chitosan*, sehingga sulit untuk terdegradasi (Xu, 2009).

Gliserol memiliki struktur kimia berupa ikatan hidrogen yang kuat dan sulit untuk bergabung dengan air. Namun penambahan gliserol yang berlebih mampu meningkatkan daya serap gliserol. Hal ini terjadi karena ikatan hidrogen dalam molekul gliserol cenderung untuk membentuk ikatan hidrogen intramolekuler termasuk dengan molekul air. Jadi dapat dikatakan bahwa plastik yang dihasilkan bersifat hidrofilik (Neutrino, 2015).

4.7 Analisis Morfologi *Biodegradabel* Poly(lactid Acid).

Analisis morfologi bertujuan untuk mengamati ikatan antara *filler biodegradabel* material terhadap matriks PLA dan keseragaman ikatan antara PLA dan pengisi *biodegradabel* secara mikro. Analisa morfologi dilakukan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada daerah penampang melintang (*cross section*) *biodegradabel* PLA.

Dari hasil yang didapatkan dalam pengujian mekanik. Besarnya nilai perpanjangan dan kekerasan sangat dipengaruhi oleh morfologi dari PLA dan pengisi *biodegradable*.

Hal ini didukung dengan mikrograf hasil pengujian SEM. Dari Gambar 4.8. (a) menunjukkan morfologi *cross section* PLA murni. Permukaan terlihat halus dan tidak tampak adanya morfologi lain pada mikrograf *neat* PLA. Gambar (b) dan (c) pada morfologi *cross section* menunjukkan pengaruh *filler chitosan* dan pati singkong yang kasar dan tidak merata, hal ini menunjukkan adanya

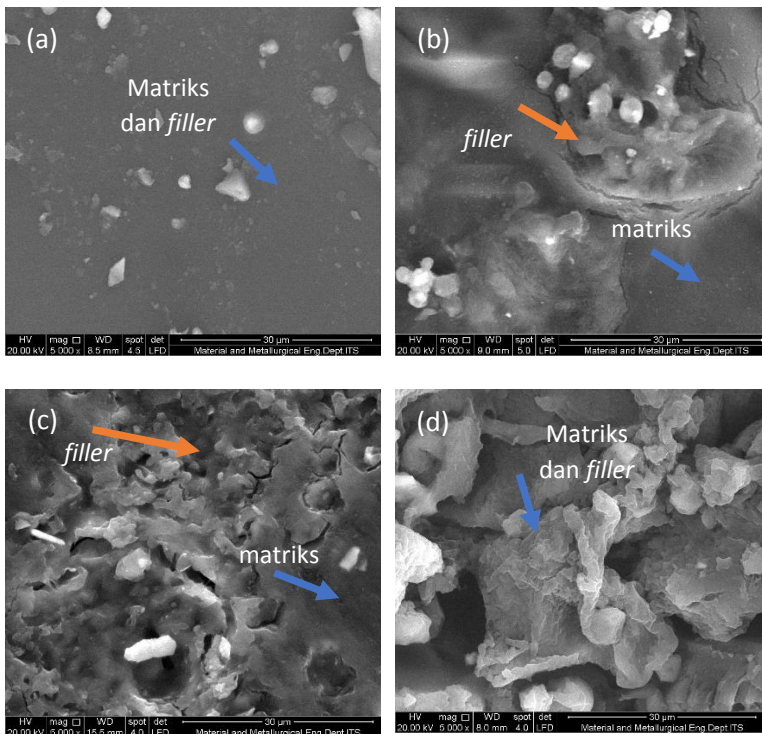


deformasi *matrix* yang signifikan. Ditunjukkan dalam tanda panah, ditandai dengan adhesi antara *matrix* dengan *filler* lemah, hal ini dapat dilihat dengan adanya beberapa *filler* yang mengalami *cracking* dan adanya jarak antara PLA dengan *filler*. Menunjukkan bahwa, tanpa *compatibilizer*, pati singkong dan *chitosan* hanya dicampur secara fisik dan hanya sedikit terjadi ikatan kimia (Bie, 2013). Adanya aglomerasi pada partikel *chitosan*, dikarenakan kecenderungan terbentuknya ikatan bipolar, sehingga terbentuk ester baru (Peng, 2005). Pada gambar (d) tidak ditemukan adanya pemisahan morfologi *cross sectional area* dari *biodegradable* Poly(lactid Acid) ber-*filler* gliserol. Ditandani dengan tidak terbentuknya batas batas yang jelas, serta tidak ditemukannya *doplet* antar gliserol dan PLA. Hal ini menandakan bahwa gliserol tercampur dengan baik dalam *matrix* PLA. Kehadirannya dapat meningkatkan elastisitas, meningkatkan adhesi antarmuka namun dapat menurunkan nilai kuat tarik (Wu, 2015).

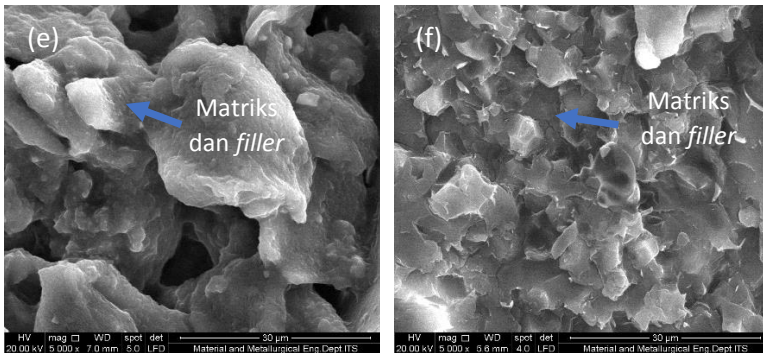
Gambar 4.8 (e) menunjukkan morfologi *biodegradable* Poly(lactid Acid) ber-*filler* selulosa. Terlihat penambahan selulosa sangat mempengaruhi morfologi campuran. Dalam migrasi selulosa ke PLA. Penambahan selulosa meningkatkan interaksi antara *reinforcement* dan *matrix* sehingga meningkatkan energi yang diserap ketika fraktur (Azlina, 2012). Dapat menyerap energi *impact* dan berfungsi juga sebagai inhibitor *crack* (Graupner, 2011). Ditunjukkan oleh tanda panah pada gambar 4.9 e), selulosa terlihat adanya agregasi. Hal ini dapat dipahami karena selulosa dalam bentuk MCC cenderung untuk membentuk aglomerat saat digunakan dalam konsentrasi tinggi (Reis, 2017), hal ini akan mempengaruhi konsentrasi tegangan lokal dan menurunkan nilai regangan (Haafiz, 2013). Pada gambar (f) menunjukkan morfologi *cross sectional area* dari *biodegradable* Poly(lactid Acid) ber-*filler* sorbitol. Sama halnya dengan gliserol, tidak ditemukan adanya kehadiran *doplet*, pembentukan *void* dan pemisahan batas yang jelas. Hal ini menandakan sorbitol tercampur dengan baik dalam *matrix*. Hal ini dikarenakan Sorbitol berfungsi sebagai plasticizer

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

memperkuat adhesi antarmuka, sehingga meningkatkan elastisitas (Purwati Ani, 2017). Dimana Sorbitol dapat meningkatkan volume bebas sehingga menurunkan kekakuan material (Li, 2018).



BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.8 Mikrograf SEM *Biodegradabel* PLA perbesaran 5000x (a) PLA, (b) CH(10%)/ PLA, (c) ST(10%)/PLA, (d) GLY(10%)/ PLA, (e) MCC(10%)/ PLA dan (f) SOR(10%)/ PLA

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan selulosa(10%) sebagai *filler* meningkatkan kekuatan tarik, dan kekuatan *impact* dari komposit *biodegradable* komposit PLA dengan peningkatan terbesar. Mempunyai kekuatan tarik sebesar 5,37 MPa dan nilai kekuatan *impact* sebesar 1,39 Joule.
2. Penambahan *filler* secara umum meningkatkan kestabilan termal komposit komposit *biodegradable* komposit PLA dengan penambahan sorbitol(10%) mempunyai hasil yang paling baik dengan temperatur dekomposisi pada 359,7 °C.
3. Penambahan *filler* sorbitol(10%) meningkatkan kemampuan degradabilitas *biodegradable* komposit PLA. Dengan pengurangan masa akhir degradabilitas sebesar 96% selama 6 minggu di dalam lingkungan air sungai.

5.2 Saran

Penelitian *biodegradable* PLA dengan variasi *filler* sumber daya alam terbarukan memiliki saran untuk penelitian berikutnya :

1. Menggunakan metode lain untuk perhitungan biodegradasi komposit.
2. Menggunakan Alat Extruder dalam pembuatan *biodegradable*.
3. Memfokuskan penelitian pada *biodegradable* PLA dengan variasi selulosa dan sorbitol.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan selulosa(10%) sebagai *filler* meningkatkan kekuatan tarik, dan kekuatan *impact* dari komposit *biodegradable* komposit PLA dengan peningkatan terbesar. Mempunyai kekuatan tarik sebesar 5,37 MPa dan nilai kekuatan *impact* sebesar 1,39 Joule.
2. Penambahan *filler* secara umum meningkatkan kestabilan termal komposit komposit *biodegradable* komposit PLA dengan penambahan sorbitol(10%) mempunyai hasil yang paling baik dengan temperatur dekomposisi pada 359,7 °C.
3. Penambahan *filler* sorbitol(10%) meningkatkan kemampuan degradabilitas *biodegradable* komposit PLA. Dengan pengurangan masa akhir degradabilitas sebesar 96% selama 6 minggu di dalam lingkungan air sungai.

5.2 Saran

Penelitian *biodegradable* PLA dengan variasi *filler* sumber daya alam terbarukan memiliki saran untuk penelitian berikutnya :

1. Menggunakan metode lain untuk perhitungan biodegradasi komposit.
2. Menggunakan Alat Extruder dalam pembuatan *biodegradable*.
3. Memfokuskan penelitian pada *biodegradable* PLA dengan variasi selulosa dan sorbitol.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Autar K.Kaw., Anggordi. 2006. **Mechanic of Composite Materials Second Edition**. London: Taylor & Francis Group.
- Callister, W. D., Rethwisch, D. G. 2009. **Material Science and Engineering:An Introduction Eight Edition**. New Jersey:John Wiley and Sons, Inc.
- Eliasson, A.C. 2004. **Starch in Food**. England: Woodhead Publishing Limited.
- Geyer, R.2017. **Production, Use, and Fate of All Plastic Ever Made**. Advance Science Magazine, 19 Juli 2017.
- Gibson, R. F. (1994). **Principles of Composite Material Mechanics**. Michigan: McGraw-Hill, Inc.
- Gajria, Ajay M.”, Vipul Dave”, Richard A. Gross+ and Stephen P. McCarthy. 1996.**Miscibility and Biodegradability of Blends of Poly (lactic acid) and Poly (vinyl acetate)**. Polymer Vol. 37 No. 3, pp. 437-444.
- Ho, M.P., Lau, K.T., Agustus 2014, **Enchanment of Impact Resistance of Biodegradable Polymer Using Bamboo Charcoal Paricles**. Material Letters 136,122-125.
- Hustiany, R. 2006. **Modifikasi Asilasi dan Suksinilasi Pati Tapioka sebagai Bahan Enkapsulasi Komponen Flavor**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kusnandar, F. 2011. **Kimia Pangan Komponen Mikro**. Jakarta : PT.Dian Rakyat.
- Li, Hongbo. 2010. **Comparison of Sorbitol and Glycerol as Plasticizers for Thermoplastic Starch in TPS/PLA Blends**. DOI 10.1002/app.32956.

- Liu Chengguo, Li Jun, Lei Wen, dan Zhou Yonghong. 2014. **Development of Biobased Unsaturated Polyester Resin Containing Highly Functionalized Castor Oil**. Elsevier, Industrial Crops and Products 52 (2014) 329 – 337.
- Lu, Yao. Chen, Yan-Chun. Zhang, Pei-Hua. 2016. **Preparation and Characterisation of Polylactic Acid (PLA)/Polycaprolactone (PCL) Composite Microfibre Membranes**. Fibres and Textiles in Eastern Europe 24. 17-25.
- Maurizo, Avela. 2009. **Eco-Challenges of Bio-Based Polymer Composites**. Materials 2, 911-925; doi:10.3390/ma2030911.
- Peters, S.T. 1998. **Handbooks of Composites**. London: Chapman & Hall.
- Rasal, R. M., Janorkar, A. V., Hirt, D. E. 2009. **Poly(lactic acid) Modification**. Progress in Polymer Science 35, 3338-356.
- Suryadi. 2011. **Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit Dengan Proses Pengendapan Kimia Basah**. Depok.
- Suryatama, Nugraha E. 2004. **Mechanical and Barrier Properties of Biodegradable Films Made from Chitosan and Poly (Lactic Acid) Blends**. Polymers and the Environment.
- Smith, P.S. 1982. **Starch Derivatives and Their Uses in Foods**. Westport Connecticut: AVI Publishing Co.
- Stevens, M. J., Covas.1995. **Ekstruder principles and operation**. Springer Netherlands.
- Swinkels, 1985. **Source of Starch, Its Chemistry and Physics**. Di dalam: G.M.A.V. Beynum dan J.A Roels

- (eds.). **Starch Conversion Technology**. New York: Marcel Dekker, Inc.,
- Tianyi, and Xiuzhi. 2003. **Starch, Poly (lactic acid), and Poly (vinyl alcohol) Blend**. **Journal of Polymers and the Environment**. Vol. 11, No. 1.
- Winarno, F. G. 1992. **Kimia Pangan dan Gizi**. Jakarta: Gramedia Press.
- Zakaria. 2013. **Mechanical Properties and Morphological Characterization of PLA/Chitosan/Epoxidized Natural Rubber Composites**. **Advances in Materials Science and Engineering Volume 2013**, Article ID629092, 7pages.
- Zhank, Ruiyun. 2012. **Fabrication and Characterization of Dense Chitosan/Polyvinyl-Alcohol/ Poly-lactic-Acid Blend**. **Membranes Fibers and Polymers** Vol.13, No.5, 571-575.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A

1. Technical Data Sheet Pellet PLA

Pellet yang digunakan adalah PLA komersil yang diproduksi oleh Naturework

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.24 g/cc	1.24 g/cc	ASTM D792
Melt Flow	5.0 - 7.0 g/10 min @Load 2.16 kg, Temperature 210 °C	5.0 - 7.0 g/10 min @Load 4.76 lb, Temperature 410 °F	ASTM D1238
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength at Break	53.0 MPa	7690 psi	ASTM D882
Tensile Strength, Yield	60.0 MPa	8700 psi	ASTM D882
Elongation at Break	6.0 %	6.0 %	ASTM D882
Tensile Modulus	3.45 GPa	500 ksi	ASTM D882
Izod Impact, Notched	0.1281 J/cm	0.2400 ft-lb/in	ASTM D256
Optical Properties	Metric	English	Comments
Transmission, Visible	90 %	90 %	Thickness Unknown
Processing Properties	Metric	English	Comments
Feed Temperature	180 °C	356 °F	
Adapter Temperature	200 °C	392 °F	
Die Temperature	190 °C	374 °F	
Melt Temperature	210 °C	410 °F	
Drying Temperature	90.0 °C @Time 7200 sec	194 °F @Time 2.00 hour	
Moisture Content	<= 0.025 %	<= 0.025 %	
Dew Point	-40.0 °C	-40.0 °F	
Drying Air Flow Rate	>= 14.2 l/min	>= 0.500 ft³/min (CFM)	
Screw Speed	20 - 100 rpm	20 - 100 rpm	

**

Materials flagged as discontinued (🚫) are no longer part of the manufacturer's standard product line according to our latest information. These materials may be available by special order, in distribution inventory, or reinstated as an active product. Data sheets from materials that are no longer available remain in MatWeb to assist users in finding replacement materials.

2. Technical Data Sheet Serbuk MCC

Test Item	Unit	Limits	Results
Particle Size Distributin D10 (by Laser)	µm	Not more than 30	20
Particle Size Distributin D50 (by Laser)	µm	45-75	61
Particle Size Distributin D90 (by Laser)	µm	Not less than 110	149
Degree of Polymerization		210-270	214
Conductivity	µs/cm	Not more than 75	31.4
pH		5.5-7	6.5
Loss on Drying	%	Not more than 7	3.6
Bulk Density	g/ml	0.26-0.34	0.29
Residue on Ignition	%	Not more than 0.05	0.02
Water Solluble Substance	%	Not more than 0.25	0.13
Heavy Metals	ppm	Not more than 10	Conforms

3. Technical Data Sheet Chitosan

CHIMULTIGUNA



Result Of Analysis

Source : Crab Shell
Batch : CHC_1117AS686M
Production Date : November 11th, 2017
Qty : 250 gr
Exp Date : November , 2019

Parameter	Result
Colour / Appearance	Off White
Particle Size	Powder Mesh 200-300
Moisture Regaint	8.65%
Residue Of Ignition	0.61%
Degree Of Deacetylation	94.88%
Viscosity	55.31 mPas
Molecular Weight	200 KDa - 500 KDa
Proteint Content	< 0,5 %
Heavy Metals	< 3ppm
Micro Organism	Negative

Indramayu, March 24th, 2018



QC & QA

4. Perhitungan Komposisi

Massa PLA Yang Digunakan (Running)

a.) Spesimen Uji *Impact*

Spesimen	Massa PLA (gram)	
	Run 1	Run 2
PLA	15	14,6
CH10%/PLA	15	14,7
ST10%/PLA	15	14,7
GLY10%/PLA	15	14,6
Cl10%/PLA	14,5	14,7
SOR10%/PLA	15	14,6

b.) Spesimen Uji Tensile

Spesimen	Massa PLA (gram)	
	Run 1	Run 2
PLA	26,5	28,5
CH10%/PLA	26,5	28,5
ST10%/PLA	28,5	28,5
GLY10%/PLA	28,5	27
Cl10%/PLA	28,5	27
SOR10%/PLA	27.8	28.2

Spesimen Uji Impak

Diketahui

$$\rho \text{ PLA} = 1,24 \text{ g/cm}^3$$

a.) Spesimen Uji Tarik

$$\text{Volume Cetakan} = 16,5 \text{ cm} \times 1,9 \text{ cm} \times 0,7 \text{ cm} = 21,9 \sim 22 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa PLA yang di butuhkan} = V \times \rho$$

$$= 22 \times 1,24$$

$$= \pm 27,28 \text{ gram}$$

b.) Spesimen Uji *Impact*

$$\text{Volume Cetakan} = 63,5 \text{ cm} \times 13 \text{ cm} \times 13 \text{ cm} = 10,73$$

$$\text{Massa PLA yang di butuhkan} = V \times \rho$$

$$= 10,7 \times 1,24$$

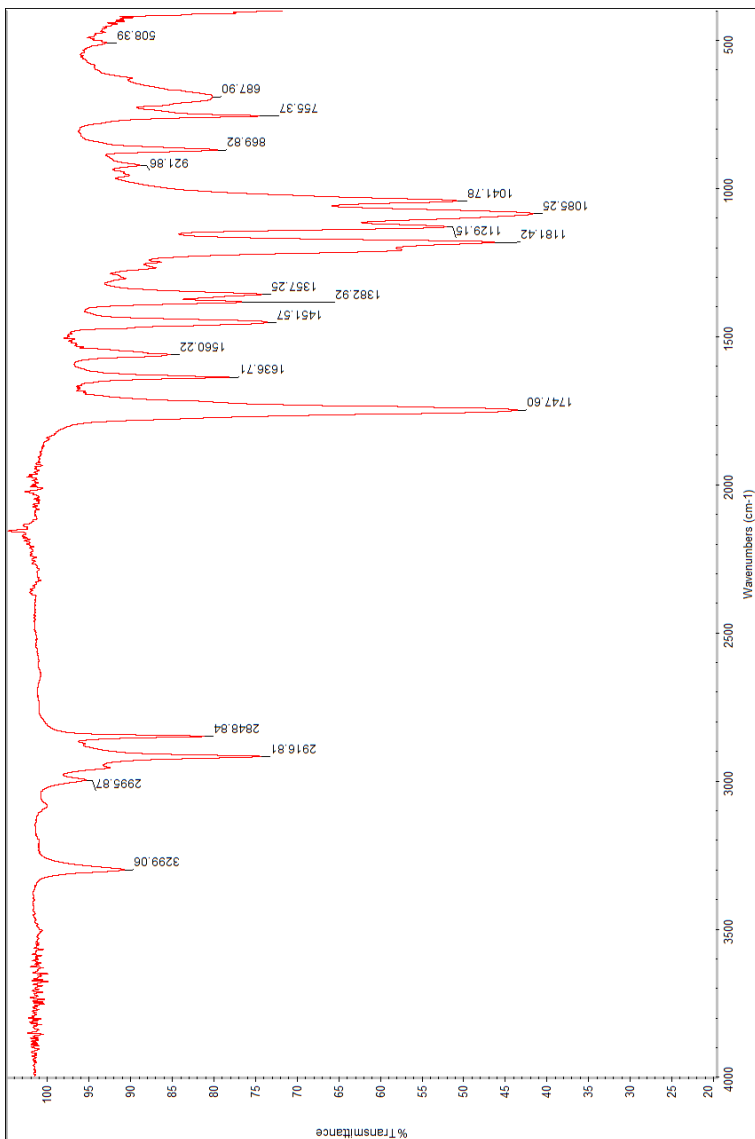
$$= \pm 13,3 \text{ gram}$$

Lampiran B

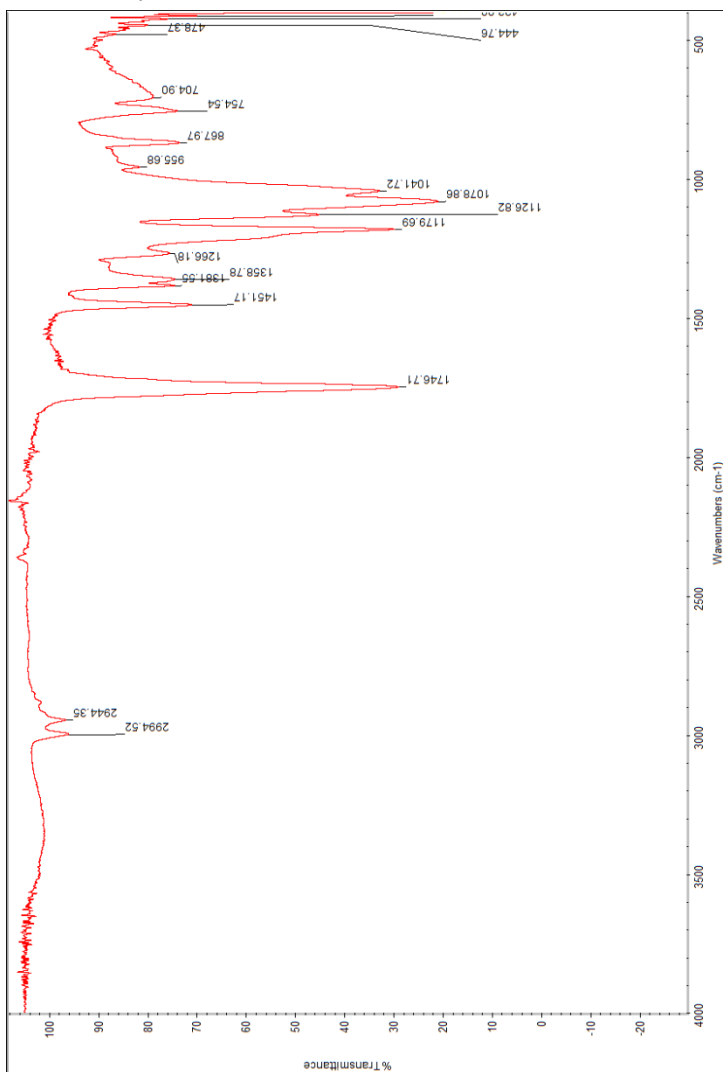
Pengujian

1. FTIR

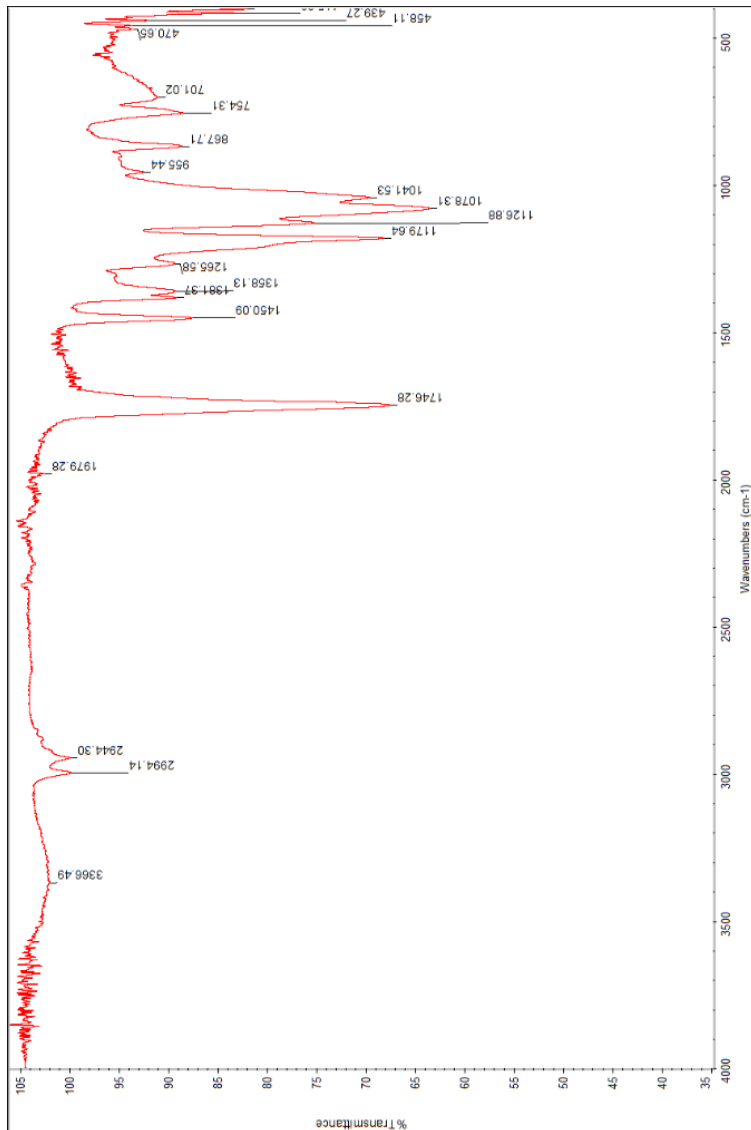
1. Poly(lactid acid) Murni



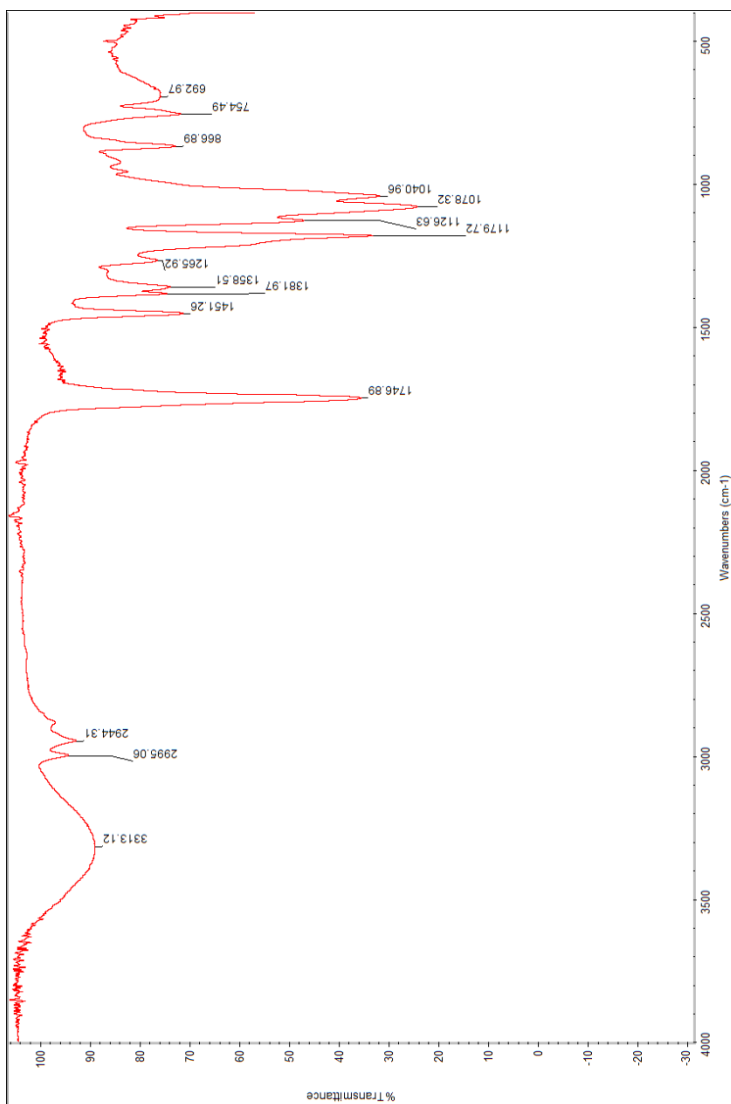
2. Poly(lactid acid) / Chitosan



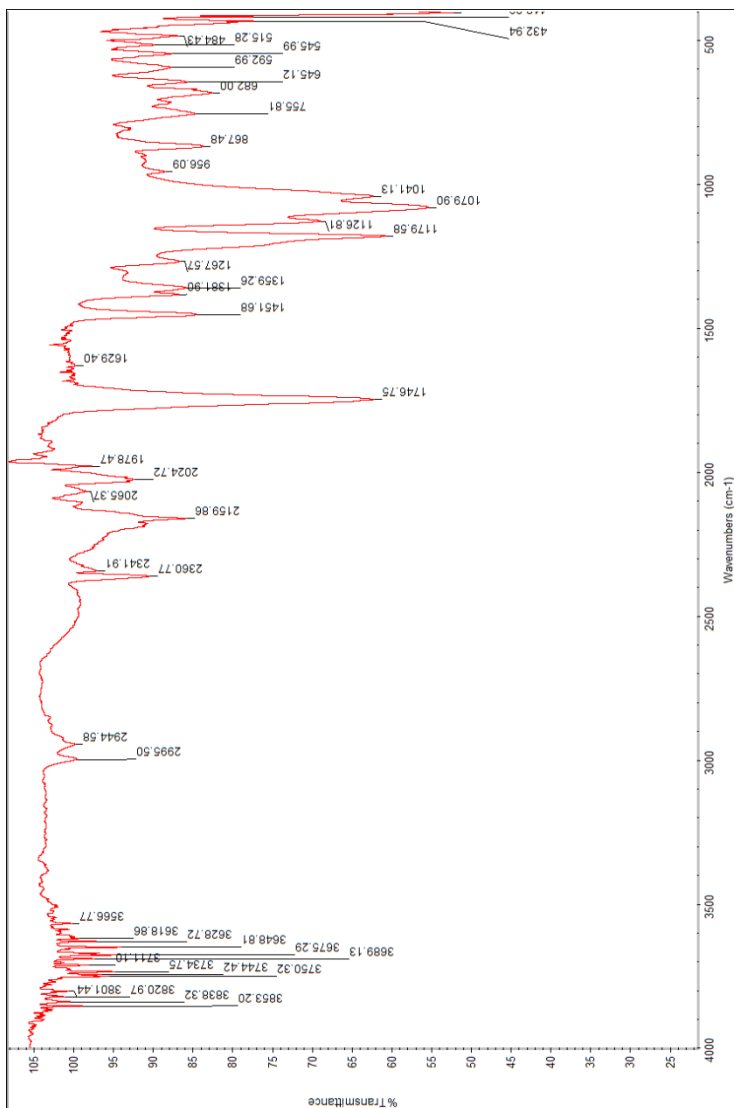
3. Poly(lactid acid) / Pati Singkong



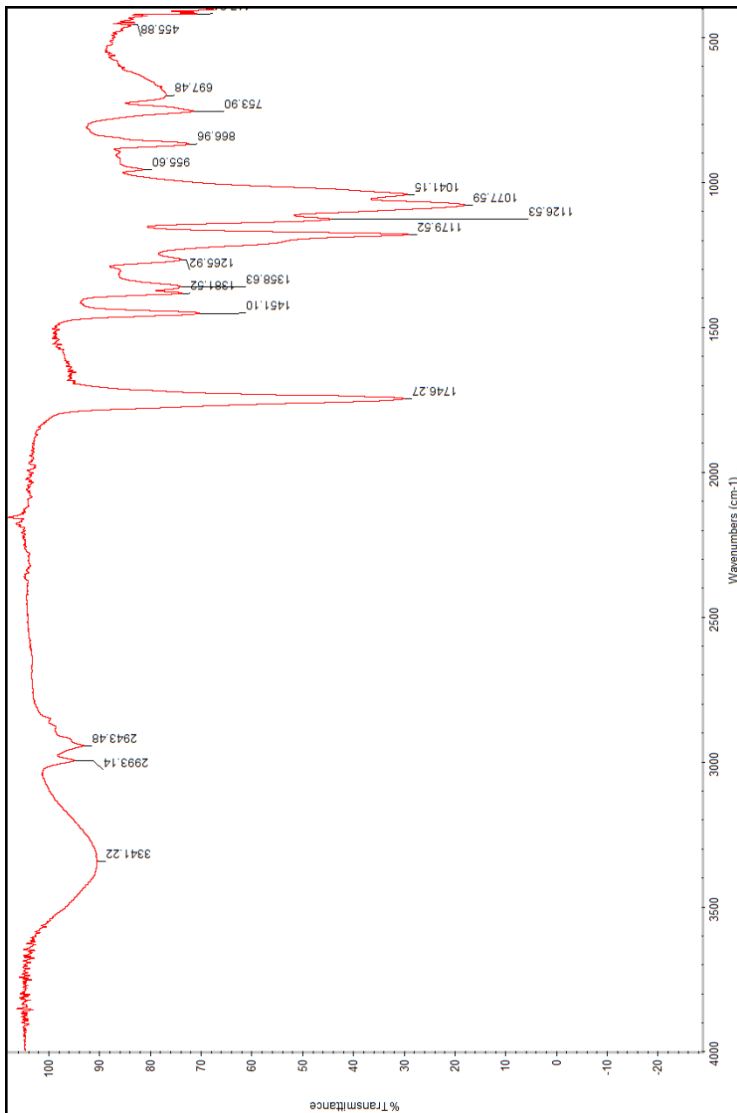
4. Poly(lactid acid) / Glycerol



5. Poly(lactid acid) / Selulosa

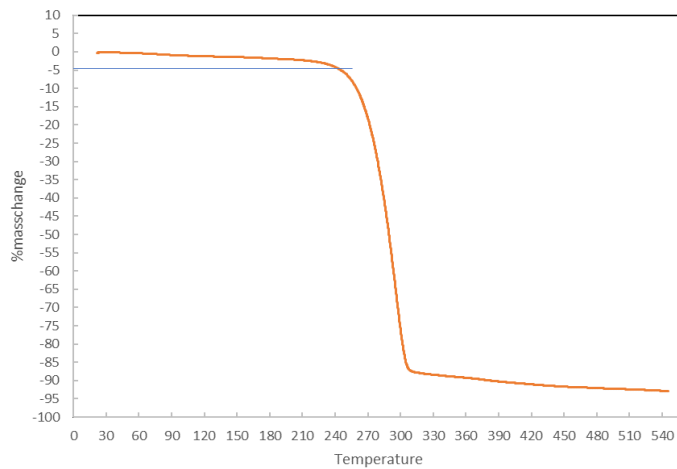


6. Poly(lactid acid) / Sorbitol

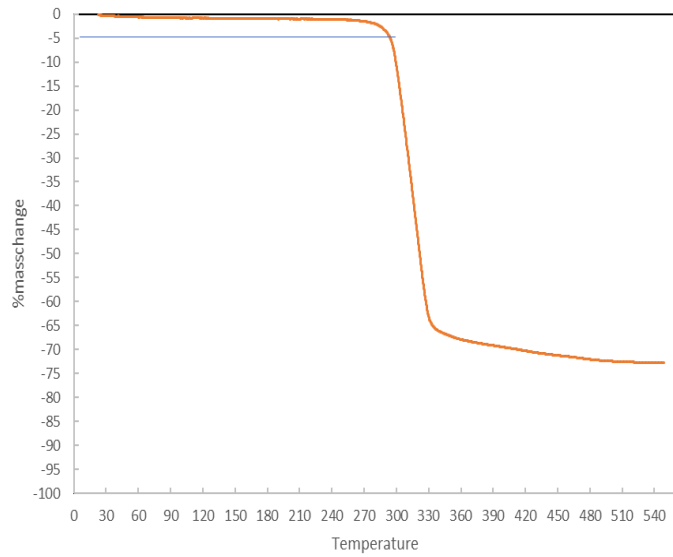


2. TGA

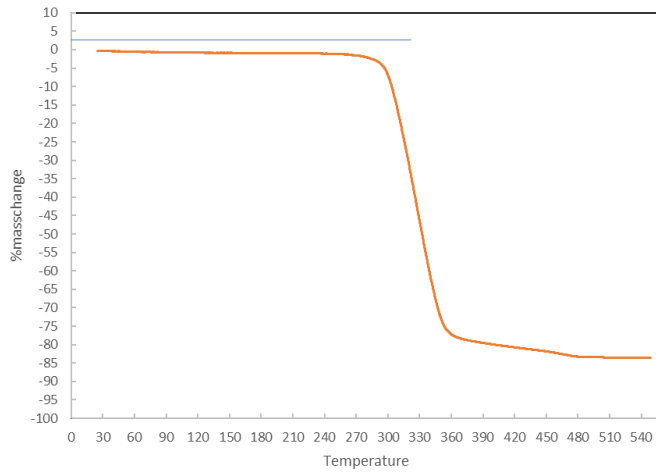
1. Poly(lactid acid) Murni



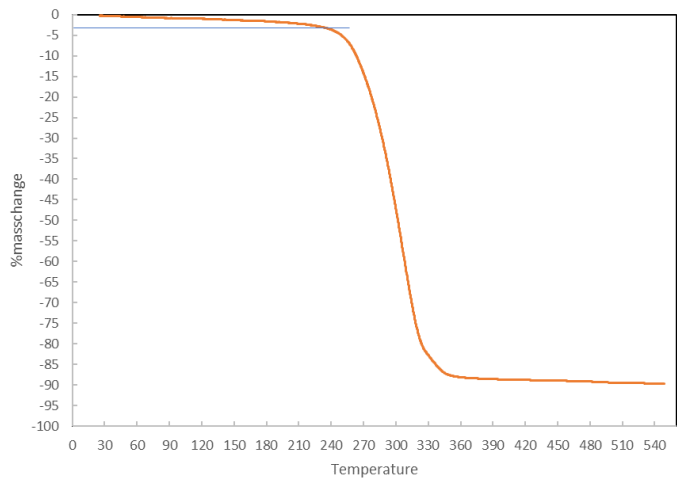
2. Poly(lactid acid) / Chitosan



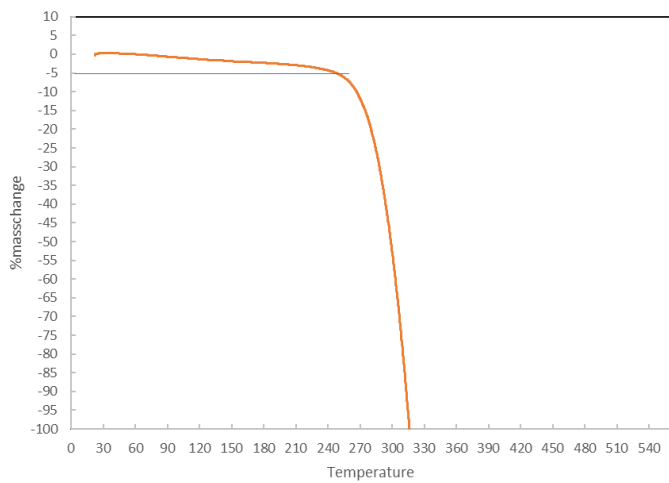
3. Poly(lactid acid) / Pati Singkong



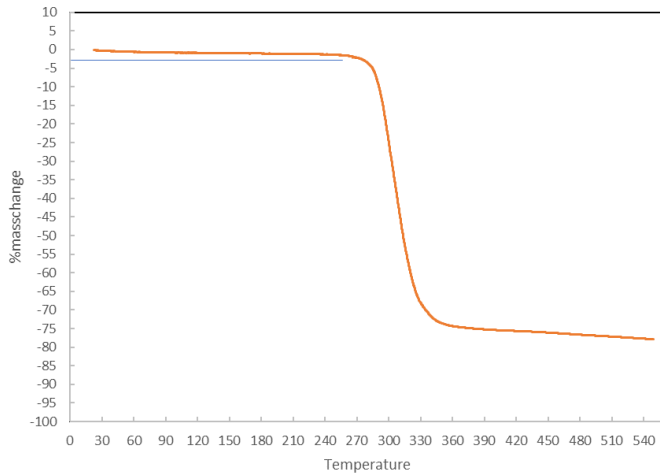
4. Poly(lactid acid) / Glycerol



5. Poly(lactid acid) / Selulosa



6. Poly(lactid acid) / Sorbitol



5. Interpolasi Temperatur Dekomposisi Dari Hasil Uji TGA

a.) PLA

$$\frac{y - 240}{-5 - (-4,165)} = \frac{270 - 240}{-18,238 - (-4,165)}$$

$$y = 241,7$$

b.) CH10%/PLA

$$\frac{y - 270}{-5 - (-1,1245)} = \frac{300 - 270}{-10,728 - (-1,1245)}$$

$$y = 282,106$$

c.) ST10%/PLA

$$\frac{y - 270}{-3 - (-1,62393)} = \frac{300 - 270}{-6,85604 - (-1,62393)}$$

$$y = 277,89$$

d.) GLY10%/PLA

$$\frac{y - 240}{-3 - (-3,6664)} = \frac{270 - 240}{-47,215 - (-3,6664)}$$

$$y = 239,54$$

e.) CL10%/PLA

$$\frac{y - 240}{-5 - (-4,32784)} = \frac{270 - 240}{-11,8484 - (-4,32784)}$$

$$y = 242,681$$

f.) SOR10%/PLA

$$\frac{y - 270}{-4 - (-1,32273)} = \frac{270 - 240}{-2,2175 - (-1,32273)}$$

$$y = 359,763$$

1. Uji Kekerasan

No	MATERIAL	POSITION				AVERAGE	STDEV
		Left	Middle	Right	Cross Section		
1	PLA	76.50	77.00	77.00	77.00	76.88	0.25
2	CH10%/PLA	78.50	79.00	79.00	80.00	79.13	0.629153
3	ST10%/PLA	78.50	78.00	78.00	78.50	78.25	0.288675
4	GLY10%/PLA	76.00	76.50	76.50	77.00	76.50	0.408248
5	CL10%/PLA	79.00	79.00	78.50	79.00	78.88	0.25
6	SOR10%/PLA	74.00	75.00	74.50	75.50	74.75	0.645497

2. Uji Impact

No	MATERIAL	Average	St Dev
1	PLA	0.001446	0.000323
2	CH10%/PLA	0.001614	2.67E-05
3	ST10%/PLA	0.001865	0.000315
4	GLY10%/PLA	0.001472	4.87E-05
5	CL10%/PLA	0.002548	0.00036
6	SOR10%/PLA	0.001488	0.000203

3. Uji Tensile



**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI RISET DAN STANDARDISASI INDUSTRI SURABAYA
LABORATORIUM PENGUJIAN DAN KALIBRASI
BARISTAND INDUSTRI SURABAYA**

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya (60244), Telp. (031) 8410054, Fax. (031) 8410480
<http://baristandsurabaya.kemenperin.go.id/>

Nomor Analisa : P. 4219 – P. 4232
Jenis Sampel : Komposit
Merk(Kode) : Terlampir
Ukuran :

No	Parameter Uji	Satuan	P. 4219		P. 4220		P. 4221		P. 4222		P. 4223	
			Cu 55 %		Cu 50%		Cu 45%		10% PEG		3% MCC	
			Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II
1	Tebal	mm	5,4	4,8	6,2	5,5	6,4	7,1	6,8	6,1	6,6	6,6
2	Lebar	mm	12,9	12,7	13,0	12,5	12,6	13,0	14,1	13,8	14,1	15,6
3	Luas Penampang	mm ²	69,7	61,0	80,6	68,8	80,6	92,3	95,9	84,2	93,1	103,0
4	Beban Maksimum	N	2077	1611	2796	1799	2308	3217	933	437	337,3	383,4
5	Kuat Tarik	Mpa	29,8	26,4	34,7	26,2	28,6	34,9	2,7	2,2	3,6	3,7

No	Parameter Uji	Satuan	P. 4224		P. 4225		P. 4226		P. 4227		P. 4228	
			5% MCC		7% MCC		10% MCC		Pla+Sel 10%		Pla+Chit	
			Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II
1	Tebal	mm	7,0	6,3	6,5	7,4	6,6	6,5	9,0	8,5	9,5	9,1
2	Lebar	mm	14,0	13,8	16,0	14,8	14,0	13,5	14,0	13,5	13,7	13,5
3	Luas Penampang	mm ²	98,0	86,9	104,0	109,5	92,4	87,8	126,0	114,8	130,2	122,9
4	Beban Maksimum	N	460	275	422	549	338	253	942	321	226	177
5	Kuat Tarik	Mpa	4,7	3,2	4,1	5,0	3,7	2,9	7,5	2,8	1,7	1,4

No	Parameter Uji	Satuan	P. 4229		P. 4230		P. 4231		P. 4232	
			Pla+Starch 10%		Pla+Sor 10%		Pla+Gly 10%		Pla	
			Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II	Uji I	Uji II
1	Tebal	mm	9,4	8,2	9,3	9,1	9,2	9,2	8,9	8,9
2	Lebar	mm	13,9	13,2	14,2	14,0	13,8	14,6	13,6	14,3
3	Luas Penampang	mm ²	130,7	108,2	132,1	127,4	127,0	134,3	121,0	127,3
4	Beban Maksimum	N	683	279	321	226	198	259	386	418
5	Kuat Tarik	Mpa	5,2	2,6	2,4	1,8	1,6	1,9	3,2	3,3

Catatan :
- Ukuran sampel berupa tebal dan lebar tidak homogen



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Akhmad Affan Hakim, lahir di Surakarta pada tanggal 07 Agustus 1995 dari ayah bernama Akhmad Rustam dan ibu bernama Anik Farchani. Penulis adalah putra pertama dari 2 bersaudara dan telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri 1 Kebumen, lalu SMP Negeri 1 Kebumen, lalu SMA Negeri 1 Kebumen. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Material dan Metalurgi melalui Jalur SNPTN 2014. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan kepanitiaan di kampus antara lain sebagai *Steering Committee* (SC) Kaderisasi merangkap Staff Material Techno Club HMMT FTI ITS periode 2015/2016, serta Staff Divisi Frame and Body ITS Team Sapuangin periode 2017/2018. Selain itu, penulis pernah menjadi Grader untuk praktikum Fisika Dasar. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Krakatau Engineering, Cilegon, Banten. Penulis mengambil topik mengenai material inovatif (Komposit) untuk tugas akhir di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)